

30-0337/001

Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. KARL KORDINA  
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz

TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
BRAUNSCHWEIG

**Untersuchungen zum Trag- und Verformungsverhalten  
punktförmig gestützter Platten bei Normbrandbeanspruchung  
unter Berücksichtigung des Sonderfalles einer Vorspannung ohne Verbund**

Z w i s c h e n b e r i c h t

erstattet von

Karl Kordina und Lore Krampf

Braunschweig, im Juli 1989

**BIBLIOTHEK**  
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz  
der Technischen Universität Braunschweig  
Beethovenstraße 52  
D-3300 Braunschweig

Die Arbeiten wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert  
(Az. Ko 204/41-1)

Postsendungen:  
3300 Braunschweig, Beethovenstraße 52  
Fernschreiben 0 531 403 403

Eröffnungszeit: Montag bis Freitag 9-16 Uhr

Ferngespräche:  
301 5411  
Ordnungsnummer 0031  
Kontakt: keine Verbindung zustande  
bitte 301 5434 wählen

Besuchzeiten:  
Montag bis Freitag 9-16 Uhr  
Telefax: 301-4673

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
1. Allgemeines	3
2. Stützenferne Bereiche	4
2.1 Versuchsmodell	5
2.2 Versuchsvorbereitung	9
2.2.1 Bemessung der Versuchskörper	9
2.2.2 Aktuelle Materialkennwerte	13
2.2.3 Meßprogramm	14
2.3 Versuchsdurchführung und -ergebnisse	17
2.3.1 Platte FD 1, Versuchsbeobachtungen	17
2.3.2 Platte FD 2, Versuchsbeobachtungen	24
2.3.3 Meßergebnisse	30
2.4 Beurteilung des Tragverhaltens	48
2.4.1 Abschätzung der Membran- und Seilkräfte	50
2.4.2 Aufnahme der Membran- und Seilkräfte	53
2.5 Vorläufige Schlußfolgerungen	56
3. Der stützennahe Bereich	59
3.1 Tragverhalten unter Normaltemperatur	59
3.2 Brandverhalten	60
4. Zusammenfassung	67
5. Literatur	68

## 1. Allgemeines

Mit Schreiben vom 11. Mai 1987 gewährte die Deutsche Forschungsgemeinschaft eine Sachbeihilfe für Untersuchungen zum Trag- und Verformungsverhalten punktförmig gestützter Platten bei Normbrandbeanspruchung. Die Ziele des Forschungsvorhabens waren in unserem Forschungsantrag vom 22.11.1986 erläutert. Dort wurde auch angegeben, daß im Antragszeitraum von zwei Jahren die Fragestellungen nicht abschließend beantwortet werden konnten, sondern eine Fortsetzung der Arbeiten erforderlich sein würde.

"Punktförmig gestützte Platten sind Platten, die unmittelbar auf Stützen mit oder ohne verstärkten Kopf aufgelagert und mit den Stützen biegefest oder gelenkig verbunden sind" (DIN 1045, Abschnitt 22.1). Solche Tragsysteme werden im Industriebau gern angewendet, da die Bauhöhe gegenüber Decken mit Unterzügen geringer ist und weil die unterzugfreie Deckenuntersicht Vorteile bei der Führung von Installationen aller Art bietet.

Punktförmig gestützte Platten können als Stahlbeton- oder auch als Spannbetonkonstruktionen ausgeführt werden. Für den letzteren Fall wird häufig die Vorspannung ohne Verbund gewählt, weil die dauerkorrosionsgeschützten Spannglieder mit geringerem Durchmesser eine große Spannkraftexzentrizität ermöglichen.

Die bei der Lastaufnahme und -abtragung entstehenden Spannungs- und Verformungszustände punktförmig gestützter Platten unterscheiden sich grundlegend von denen liniengestützter Platten, insbesondere weil bei den punktgestützten Platten nur in Einzelpunkten, den Stützen, die Vertikalverformung gleich Null gesetzt werden kann, während bei den liniengestützten Systemen die als Plattenaufleger dienenden Wände und in vertretbarer Näherung auch Balken als vertikal unverschieblich angenommen werden.

Desgleichen stellt sich bei unsymmetrischen Belastungs- oder Systemabmessungsverhältnissen eine größere Verdrehungsbereitschaft der punktförmig gestützten Platten ein.

Während liniengestützte Stahlbetonplatten nur in seltenen Fällen hoch schubbeansprucht sind, ist die Sicherung gegen Querkraftversagen, die sog. Durchstanzgefahr, ein entscheidend wichtiges Kriterium beim Entwurf punktförmig gestützter Platten, insbesondere derjenigen ohne verstärkten Stützenkopf.

Diese unter Normalbedingungen, also Raumtemperatur, vorhandenen Unterschiede gewinnen besondere Bedeutung für die Beurteilung des Trag- und Verformungsverhaltens unter Brandbeanspruchung. Untersuchungen hierzu fehlten bis heute fast völlig, und die Forschungsarbeit, über die hier ein Zwischenbericht abgeliefert wird, befaßt sich erstmalig gezielt mit diesen Problemen. Sie baut auf den im Sonderforschungsbereich "Brandverhalten von Bauteilen" erworbenen Erkenntnissen auf und soll dort offengebliebene Fragen beantworten.

Gegenüber dem Antrag wurden die Zuwendungen der Deutschen Forschungsgemeinschaft wesentlich gekürzt. Dadurch wurde eine Reduzierung und Umstellung der geplanten Arbeiten, insbesondere des experimentellen Teils, erforderlich. Die Anregungen, die von den Gutachtern dazu gegeben worden waren, wurden dabei beachtet. Allerdings konnten wir uns dem Vorschlag, nur einen Gurtstreifen als Modell zu wählen und an ihm sowohl die Biegetragwirkung als auch das Durchstanzen zu untersuchen, nicht anschließen. Einer der wesentlichen Gründe dafür war die Befürchtung, daß der Effekt des Durchstanzens, der in sehr frühen Stadien der Brandbeanspruchung auftreten kann, die Verfolgung des Biegetragverhaltens ausschließen würde.

Gegenüber den in unserem Antrag vorgeschlagenen Modellen wurden jedoch Änderungen vorgenommen, die später im einzelnen dargestellt werden.

Voruntersuchungen an Flachdecken über die Wirkung einer Vorspannung ohne Verbund konnten bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht durchgeführt werden.

## 2. Stützenferne Bereiche

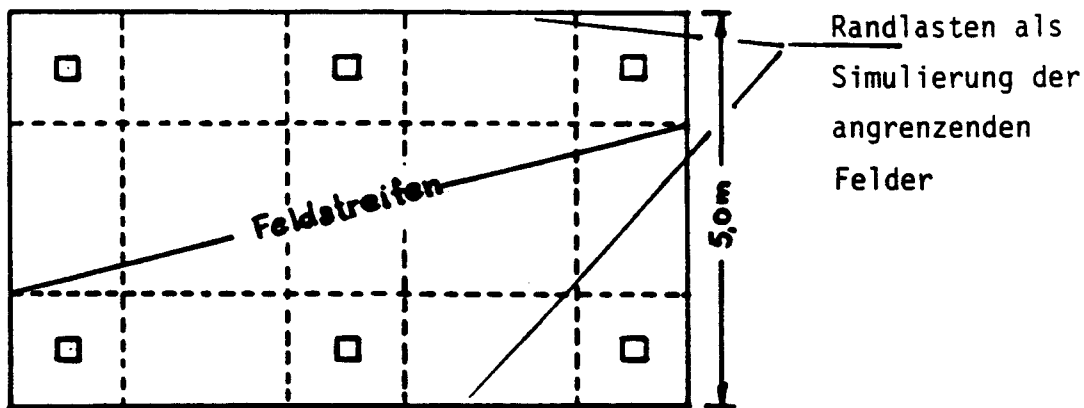
An der in unserem Antrag gewählten Aufgliederung der Untersuchungen in die der stützenfernen und der stützennahen Bereiche wurde festgehalten. Mit dem Ausdruck "stützenferne" Bereiche ist dabei gemeint, daß die besonderen Eigenheiten der punktförmig gestützten Platten im engeren Bereich der Stützen,

insbesondere die Gefahr des Durchstanzens, nach Möglichkeit ausgeschaltet werden sollen. Das besondere Augenmerk galt bei den stützenfernen Bereichen der Entwicklung der erwarteten Biegetragwirkung.

## 2.1 Versuchsmodell

Laut Forschungsantrag waren für die stützenfernen Bereiche zwei Versuchskörpertypen vorgesehen. Bei einer jeweiligen, durch die Größe der Versuchsanlage bedingten Fläche von rd.  $5,0 \times 10,0 \text{ (m}^2\text{)}$  sollten möglichst repräsentative Tragwerkausschnitte simuliert werden (s. Bild 2.1.1).

### Modell A: Feldstreifen



### Modell B: Gurtstreifen

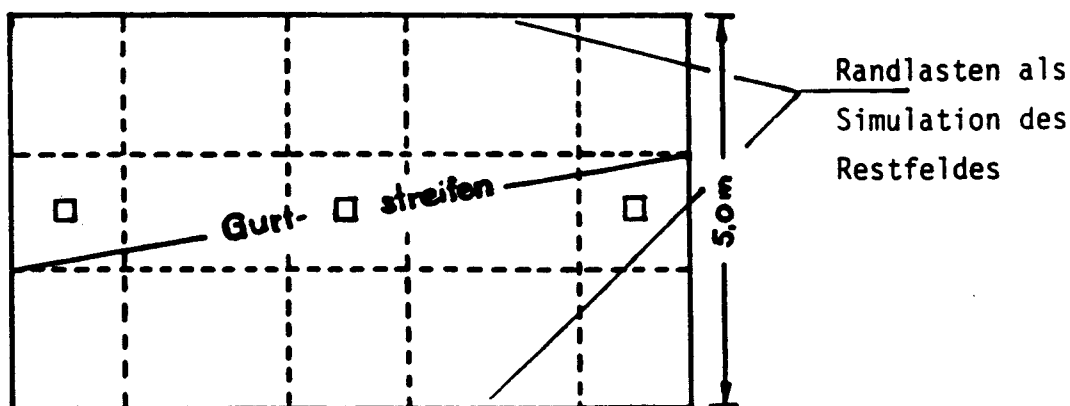


Bild 2.1.1 Versuchsmodelle für die stützenfernen Bereiche

Entsprechend den näherungsweise rechnerischen Nachweisen für den Kaltzustand [1] wurden dabei durchlaufende Feldstreifen und Gurtstreifen definiert und aus einem Gesamtsystem herausgeschnitten.

Die begrenzte Versuchskörpergröße zwang zu enger Stützenstellung bzw. kleinem Rastermaß. Das ergab, wenn praxisnahe Plattenschlankheiten eingehalten werden sollten, sehr geringe Plattendicken. Es ist evident, daß bei extrem verformungsfreudigen Systemen wie punktgestützten Platten praxisnahe Schlankheiten im Versuch angestrebt werden sollten, da hiervon das Verformungsverhalten in besonderem Maße abhängt und eine nur rechnerische Erfassung realitätsnaher unterschiedlicher Schlankheiten wenig vertrauenswürdig ist. Demgegenüber schien es vertretbar, die zu schnelle Durchwärmung einer dünnen Platte und den dadurch erzeugten Zeitraffereffekt für alle Phänomene durch eine flächige Isolierung der Plattenunterseite zu verhindern.

Damit hätte man in Kauf nehmen müssen, daß der im tragenden Querschnitt verbleibende Teil des bei Brandbeanspruchung entstehenden Temperaturgradienten nur schwach geneigt war. Diejenigen Anteile hoher Temperatur und starken Gefälles, die vor allem für die thermische Durchbiegung einer Platte maßgebend sind, wären von der Isolierung absorbiert worden und hätten damit ihren Einfluß verloren. Durch rechnerische Ermittlungen hätte dieser im Experiment fehlende Einfluß berücksichtigt werden müssen.

Die in der Bewilligung des Forschungsvorhabens vorgenommene drastische Kürzung der beantragten Mittel für die Versuchsdurchführung zwang zum Überdenken des Versuchskonzepts. Mit den Restmitteln war eine umfassende experimentelle Untersuchung der stützenfernen Bereiche als durchlaufende Feldstreifen und durchlaufende Gurtstreifen, wie in Bild 2.1.1 angedeutet, nicht möglich.

Der Hinweis der DFG, daß von Gutachterseite angeregt worden sei, zunächst nur einen Gurtstreifen mit und ohne Schubbewehrung zu untersuchen und die Versuche so anzulegen, daß dabei auch das Durchstanzen maßgebend werde, wurde selbstverständlich berücksichtigt. Jedoch konnte dieser Empfehlung nicht gefolgt werden, da

- die großen zu erwartenden Durchbiegungen im Bereich der sich kreuzenden Feldstreifen (Feldmittenbereich) nachvollzogen werden sollten und
- das Durchstanzen ein störender, das Biegetragverhalten nicht systematisch beeinflussender Parameter ist, der gesondert untersucht werden muß.

Daher wurde nach einem Versuchskörpertyp gesucht, dessen Untersuchung bei geringer Versuchsanzahl möglichst deutliche, interpretierbare und übertragbare Ergebnisse erwarten ließ, wenngleich die Informationsdichte gegenüber den ursprünglich von uns geplanten Versuchen notwendigerweise geringer ausfallen mußte. Nach entsprechenden rechnerischen Vorabschätzungen wurde folgendes System gewählt (s. Bild 2.1.2):

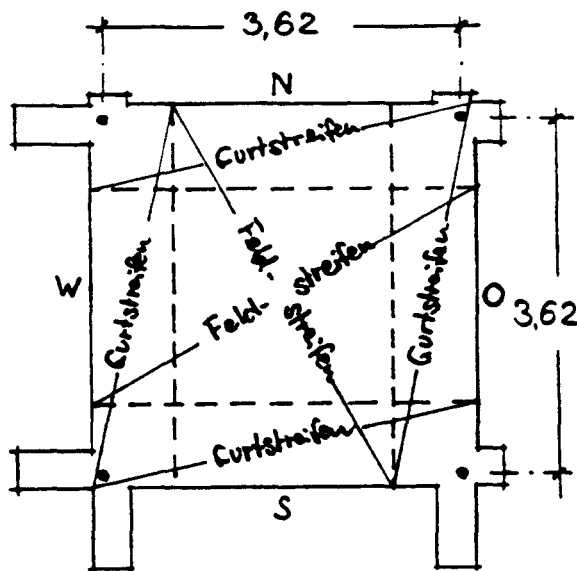


Bild 2.1.2 Versuchskörper (System)

Es war nun möglich, die Platte so dick ( $d = 150 \text{ mm}$ ) auszubilden, daß auf eine Isolierung der Unterseite verzichtet werden konnte. Damit mußten sich praxisgerechte Temperaturgradienten einstellen; der Prüfkörper stellt einen Ausschnitt aus einem mehrfeldrigen Plattensystem dar, und zwar ein Innenfeld eines Systems mit quadratischer Rasterung.

Man kann davon ausgehen, daß sich die Stützenköpfe in der Realität beim Brand umgebender Felder nicht verdrehen; ihre Unverschieblichkeit wird zunächst unterstellt. Bei partiellen Bränden neigen die Stützenköpfe eher zu Verdrehungen als zu Verschiebungen; letztere werden wirksam von der "kalten" Umgebung behindert.

Die Kontinuität des Bauteils an den Schnittkanten des Prüfkörpers kann im Versuch nur näherungsweise punktuell simuliert werden (an den Auflagerpunkten und in den Seitenmitten).

#### a) Kontinuität an den Auflagern

Die geometrischen Randbedingungen lassen sich an den Plattenecken versuchs-technisch vergleichsweise einfach nachbilden, indem die Platte konstruktiv über die Auflagerpunkte hinaus verlängert wird und an den Spannbetonrahmen stößt, der das Brandhaus umgibt (s. Bild 2.1.2). Die obenliegende Stützbewehrung wird über den Auflagerbereich bis an den o.g. Spannbetonrahmen fortgesetzt. Somit kann eine effektive Rotationsbehinderung erreicht werden, da sich diese "Plattenschwänze" aufgrund ihrer Bauhöhe nicht neigen können (s. Bild 2.1.3).

Die massiven "Plattenschwänze" sind auch in der Lage, die thermische Ausdehnung des beflamten Plattenteils nahezu vollständig zu verhindern. Es kann näherungsweise von einer vollständigen Rotations- und Dehnbehinderung an den Eckpunkten ausgegangen werden.

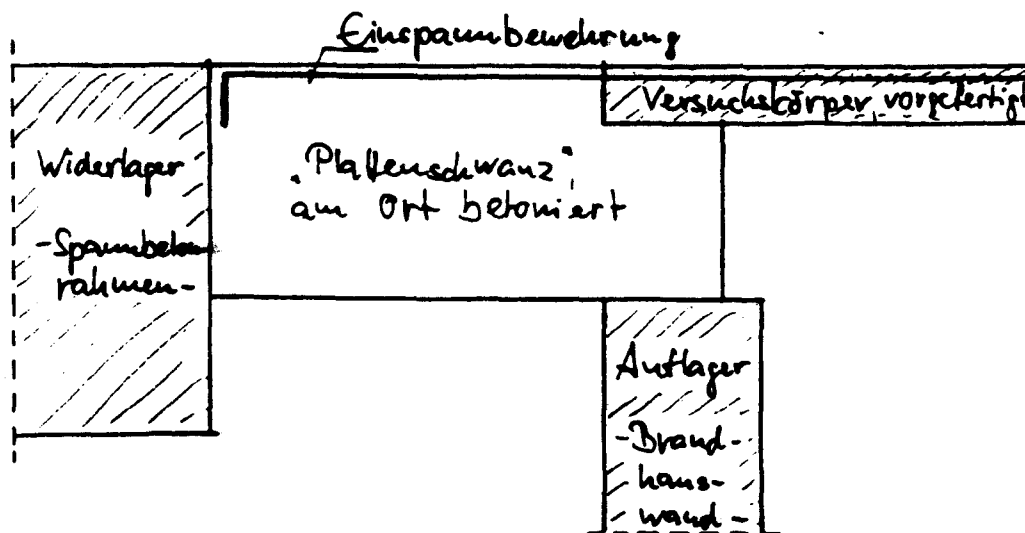


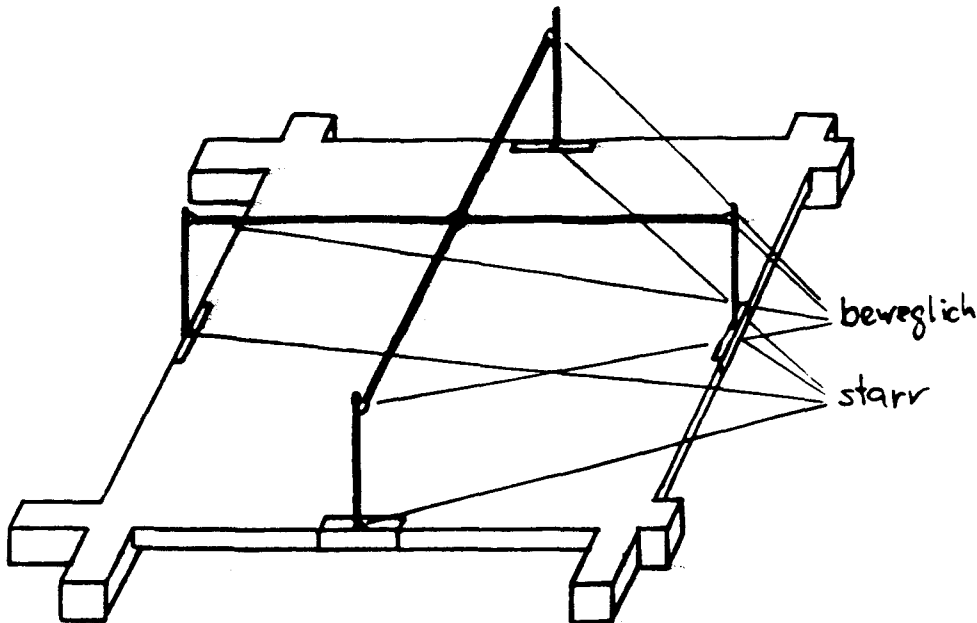
Bild 2.1.3 Konstruktive Ausbildung der "unverformbaren" Plattenecken

#### b) Verformungsbehinderung (Kontinuität) im Feldbereich

Es ist bei dem gewählten Versuchskörpertyp praktisch nicht möglich, die Horizontal- und Rotationsverformungen der Gurtstreifen im Feldbereich kontinuierlich zu behindern, zumal ja die Vertikalverformung nicht beeinflusst werden soll.



Daher war eine Beschränkung auf die Beeinflussung der Verdrehungsfähigkeit in den Feldmitten der Gurtstreifen erforderlich. Sie wurde durch ein stählernes Aussteifungskreuz über der Platte erzielt, das mit steifen, 1 m hohen Stahlstützen mit der Platte verbunden war. Bei thermisch bedingten Verformungsbestrebungen der Platte wurden so Zwangsmomente in der Platte geweckt, entsprechend der Behinderung der Verdrehung in den Festhaltepunkten..



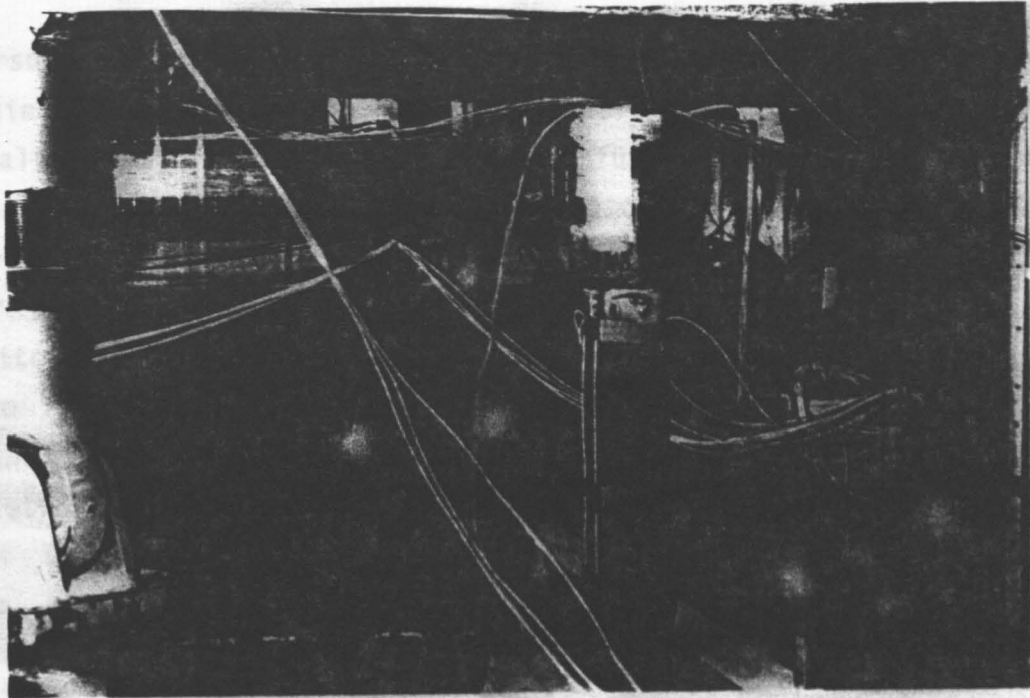
**Bild 2.1.4** System der Verformungsbehinderung im Feldbereich

Die Bilder 2.1.5 und 2.1.6 zeigen das Aussteifungskreuz vor Beginn eines Versuchs. Auf Bild 2.1.5 ist eine Stütze mit angeschlossener Horizontalstrebe dargestellt und auf Bild 2.1.6 der frei drehbare Anschluß zwischen Stütze und Horizontalstrebe.

## 2.2 Versuchsvorbereitung

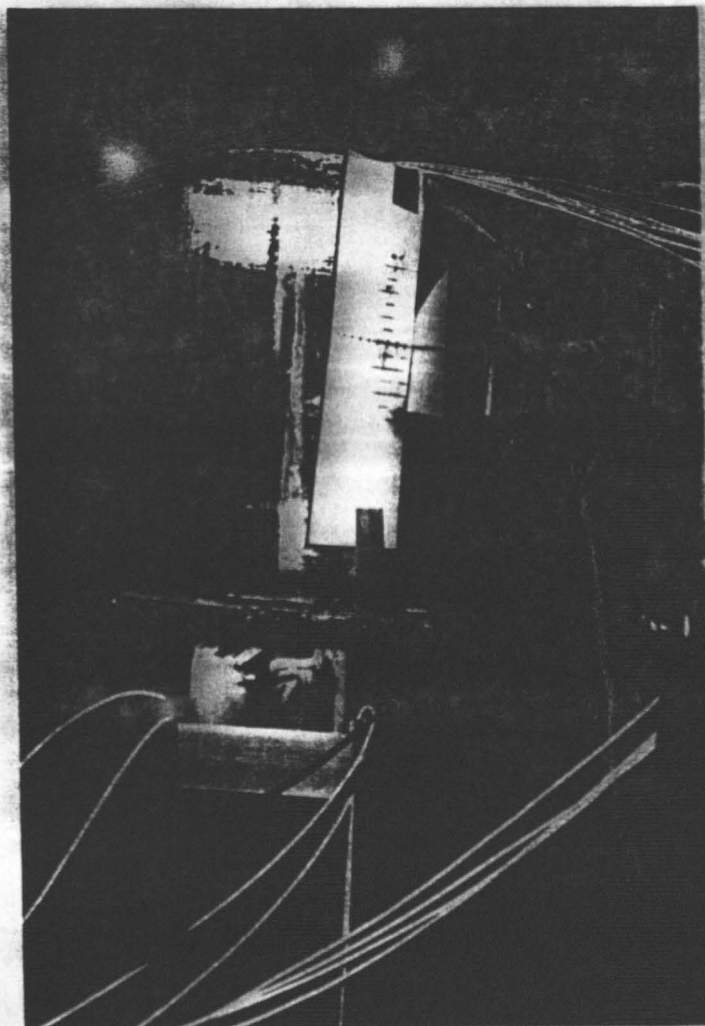
### 2.2.1 Bemessung der Versuchskörper

Beim Entwurf der Platten wurden die Bestimmungen von DIN 1045 und DIN 4102 eingearbeitet. Wichtigste Festlegung war zunächst die Mindestdicke, die bei Flachdecken gemäß DIN 1045  $d = 150 \text{ mm}$  beträgt, während DIN 4102  $d = 150 \text{ mm}$  nur für F 30 zuläßt, darüber hinaus bei Platten ohne Stützenkopfverstärkung jedoch mindestens  $d = 200 \text{ mm}$  fordert.



Bilder 2.1.5 und 2.1.6

Verformungsbehinderung  
im Feldbereich



Für die Versuchskörper wurde der Mindestwert  $d = 150 \text{ mm}$  gemäß DIN 1045 gewählt, da die Festlegungen in DIN 4102 seinerzeit ohne genauere Kenntnis des Plattenverhaltens getroffen werden mußten und für das jetzige Vorhaben keine Bindung sein konnten. Bei den gegebenen Größen der Prüfanlage wurde mit  $d = 150 \text{ mm}$  auch eine realitätsnahe Plattenschlankheit erreicht.

Bei den weiteren Überlegungen wurde von einer als Gleichlast anzunehmenden Nutzlast von  $100 \text{ kN}$  auf  $4,75 \times 4,75 \text{ (m}^2\text{)} = 4,43 \text{ kN/m}^2$  ausgegangen. Damit war der Zusammenhang mit der Platte Q 3/85 (mit  $l_x = l_y = 4,75 \text{ m}$ ) hergestellt, die als Pilotversuch einer nicht kontinuierlich gestützten Platte im Teilprojekt A2 des Sonderforschungsbereichs "Brandverhalten von Bauteilen" untersucht wurde. Direkte Vergleichsmöglichkeiten wurden damit angestrebt. Die Schnittgrößen wurden näherungsweise gemäß [1] nach dem Ersatzrahmenverfahren ermittelt.

Die anschließende Bemessung erfolgte nach dem kh-Verfahren für reine Biegung. Als Bewehrungsstahl wurde BSt IV S und BSt IV M verwendet. Als Betonfestigkeitsklasse wurde B 35 angestrebt. Alle ermittelten Biegemomente konnten danach ohne Biegedruckbewehrung aufgenommen werden.

Es zeigte sich ferner, daß bei der gewählten Konstruktion im Kaltzustand keine Durchstanzgefahr besteht.

### Beanspruchung bei Normaltemperatur und Bewehrung

#### Belastung

Eigengewicht:  $0,15 \cdot 25 =$

$$g = 3,75 \text{ kN/m}^2$$

Nutzlast:

$$p = 4,43 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 8,18 \text{ kN/m}^2$$

#### Momente (Innenfeld bei vollbelastetem Gesamtsystem)

##### Feldstreifen

$$m_{FF} = 0,84 (0,042 q l^2) = 0,84 \cdot 7,35 = 6,18 \text{ kNm}$$

$$m_{SF} = - 0,5 (0,083 q l^2) = - 0,5 \cdot 14,50 = - 7,25 \text{ kNm}$$

**Gurtstreifen**

$$\begin{aligned}
 m_{FG} &= 1,25 \cdot 7,35 &= 9,20 \text{ kNm} \\
 m_{SS} &= - 2,1 \cdot 14,50 &= - 30,42 \text{ kNm} \\
 M_{SG} &= - 1,4 \cdot 14,50 &= - 20,30 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

**Bewehrung**

$$B \text{ 35/BSt 500/550; } d/h_{\text{Feld}}/h_{\text{Stütze}} = 0,15/0,115/0,13$$

**Feldstreifen**

$$\begin{aligned}
 \text{Feldbewehrung} & & A_S &= 1,98 \text{ cm}^2 \\
 \text{Stützbewehrung} & & A_S &= 2,07 \text{ " }
 \end{aligned}$$

**Gurtstreifen**

$$\begin{aligned}
 \text{Feldbewehrung} & & A_S &= 2,96 \text{ cm}^2 \\
 \text{Stützbewehrung (} m_{SS} \text{)} & & A_S &= 9,12 \text{ " } \\
 \text{Stützbewehrung (} m_{SG} \text{)} & & A_S &= 5,93 \text{ " }
 \end{aligned}$$

**Druckbewehrung ist nicht erforderlich.**

Dafür wurde der Versuchskörper FD 1 bewehrt. Bei dem Versuchskörper FD 2 wurde die Stützbewehrung um rd. 40 % verstärkt, um die Kapazität zur Aufnahme erhöhter Stützmomente zu vergrößern, die aus Momentenumlagerung infolge Durchlaufwirkung im Brand erwartet wurden (bei liniengelagerten Durchlaufsystemen ist diese Momentenumlagerung in der Regel durch das Fließen der Stützbewehrung begrenzt).

Eine Druckbewehrung schien auch im Versuch FD 2 nicht erforderlich zu sein.

Durchstanzen

Stützenabmessungen 0,50/0,50 (m)

$$\begin{aligned}
 Q_R &= 8,15 \cdot 4,75^2 &= 184,00 \text{ kN} \\
 d_S &= 1,13 \cdot 0,50 &= 0,56 \text{ m} \\
 h_m & &= 0,13 \text{ m} \\
 d_R &= d_S + h_m &= 0,69 \text{ m} \\
 u_0 &= \tau d_R &= 2,17 \text{ m} \\
 u &= 1,0 \cdot u_0 &= 2,17 \text{ m} \\
 \tau_R &= Q_R/u \cdot h_m &= 652,7 \text{ kN/m}^2 \\
 & &\underline{=} 0,7 \text{ N/mm}^2 \\
 \\
 \gamma_1 &= 1,3 \cdot 1,4 \sqrt{A_S/h_m} &= 1,6 \\
 \tau_{011} & &= 0,60 \text{ N/mm}^2 \\
 \tau_R &= 0,7 < \gamma_1 \tau_{011} = 0,96 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Durchstanzgefahr besteht nicht; Schubbewehrung ist nicht erforderlich.

Analog zu liniengestützten durchlaufenden biegebeanspruchten Systemen war eine Momentenumlagerung zu erwarten. Um sie abdecken zu können, war eine Verlängerung der Stützbewehrungen erforderlich. Außerdem mußten die im Bereich des horizontalen Aussteifungskreuzes erwarteten Zwangskräfte kraftschlüssig von einem Plattenrand zum gegenüberliegenden übertragen werden. Darüber hinaus mußte eine Transportbewehrung eingelegt werden. Daraus ergab sich eine fast geschlossene obere Bewehrung der Prüfkörper. Diese Tatsache muß bei der Versuchsauswertung berücksichtigt werden.

## 2.2.2 Aktuelle Materialkennwerte

		Platte FD1		Platte FD2
Beton	Rohdichte	$\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,26	2,31
	Zylinderfestigkeit	$\beta_{Zyl}$ (N/mm <sup>2</sup> )	34,8	37,4
	Prismenfestigkeit	$\beta_{pr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	33,1	34,7

Elastizitätsmodul	$\varepsilon_{zy1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	22,8	24,6
	$\varepsilon_{pr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	23,6	24,8

Stahl     Baustahlgewebe:      $\beta_{0,2} = 527 \text{ N/mm}^2$   
     $\beta_Z = 585 \text{ N/mm}^2$

Stabstahl:      $\varnothing 10$       $\beta_{0,2} = 561 \text{ N/mm}^2$   
     $\beta_Z = 683 \text{ "}$   
     $\varnothing 12$       $\beta_{0,2} = 590 \text{ "}$   
     $\beta_Z = 668 \text{ "}$   
     $\varnothing 14$       $\beta_{0,2} = 571 \text{ "}$   
     $\beta_Z = 655 \text{ "}$

### 2.2.3 Meßprogramm

Das Meßprogramm umfaßte folgende Aufgaben:

#### 2.2.3.1 Messung der Brandraumtemperatur

Mit NiCr-Ni-Thermoelementen wurde an 11 Meßstellen unterhalb der Platte die Brandraumtemperatur kontrolliert. Die Messungen dienten gleichzeitig zur Steuerung der Einheits-Temperaturzeitkurve gemäß DIN 4102 Teil 2.

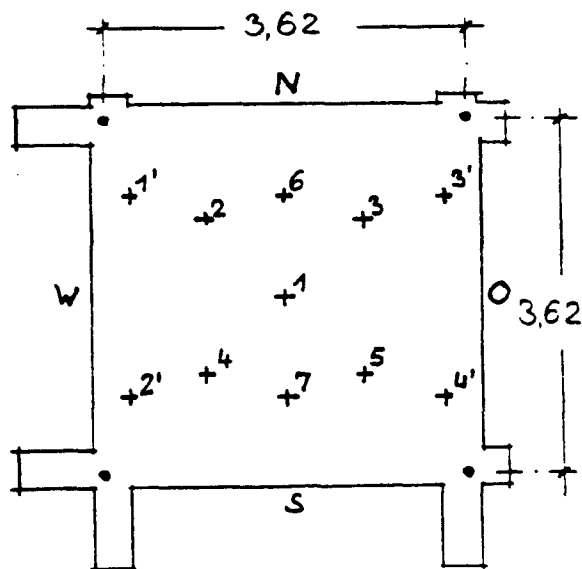


Bild 2.2.1

Meßpunkte für die  
Brandraumtemperatur

### 2.2.3.2 Messung der Temperatur im Prüfkörper

Der Temperaturverlauf im Versuchskörper wurde mit NiCr-Ni-Thermoelementen an der unteren und oberen Bewehrung und über die gesamte Plattendicke im Beton gemessen.

### 2.2.3.3 Messung der Plattendurchbiegung

Der Verlauf der Plattendurchbiegung wurde mit Potentiometern gemessen.

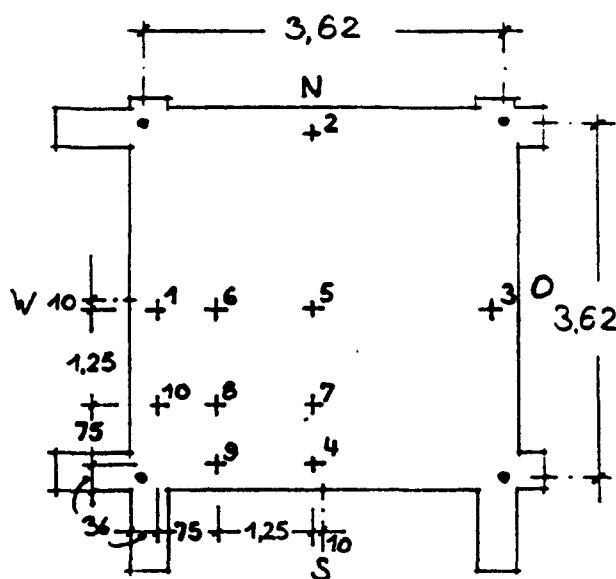


Bild 2.2.2

Meßpunkte für  
die Plattendurch-  
biegung

### 2.2.3.4 Messung der Plattenneigung

An den Seitenmitten, den Bereichen der Rotations- und Dilatationsbehinderung durch das stählerne Aussteifungskreuz wurde mittels Rollenmeßgeräten und Potentiometern die auftretende Schiefstellung der Plattenränder verfolgt.

### 2.2.3.5 Messung der Plattendilatation

An den gleichen Stellen wie unter 2.2.3.4 wurde die Horizontalverformung, bezogen auf die Plattenecken, durch Rollenmeßgeräte und Potentiometer verfolgt.

### 2.2.3.6 Messung von Dehnungen

Mit Dehnmeßstreifen wurden zur Ermittlung der entsprechenden Spannungen die Dehnungen verfolgt an

- der oberen Bewehrung im Auflagerbereich,
- der oberen Bewehrung in Seitenmitte im Bereich der Rotations- und Dilatationsbehinderung und
- im unteren Bereich der Stützen des stählernen Aussteifungskreuzes.

## 2.3 Versuchsdurchführung und -ergebnisse

### 2.3.1 Platte FD 1

Der Versuch wurde am 11.5.1988, rd. 7,5 Monate nach dem Betonieren des Prüfkörpers durchgeführt.

### Versuchsbeobachtungen

- 5 Min:        Diagonalrisse nahe den Ecken an der Plattenoberseite sind deutlich zu sehen (Bild 2.3.1.1); an den U-Eisen (Einleitung der Verformungsbehinderung im Feldbereich) keine Rißbildung!
- 16 Min:        Knallartiges Geräusch, wie bei Abplatzungen; im Osten (s. Bild 2.2.2) keine Abplatzungen festgestellt.  
                  Vermutung: Abplatzung an der nicht einsehbaren Süd-West-Ecke.
- ab 16.Min:    Ständiges Knacken ist deutlich hörbar, metallisches Knacken, Ursache kann nicht gefunden werden.  
                  Vermutung: freigelegte untere Bewehrung der Süd-West-Ecke ist die Ursache.
22. Min:        Wasser tritt aus Rissen auf der Oberseite aus, die parallel zum Rand laufen; gute Wirkung des Aussteifungskreuzes. Diagonalrisse haben sich inzwischen deutlich geöffnet.
23. Min:        Abplatzung aufgrund von Geräuschen vermutet.
31. Min:        Abplatzungen auf der West-Seite festgestellt. Süd-West-Ecke erheblich geschädigt.



60. Min: inzwischen: umfangreiche Abplatzungen ca. 1,5 m um die Ecke herum an der Süd-Ost-Ecke und an der Süd-West-Ecke. Die Nord-West-Ecke ist unten nur leicht geschädigt. Die Nord-Ost-Ecke ist in Ordnung.
123. Min: U-Eisen reißt an der Schweißnaht auf (Süd-Stütze).
185. Min: Ende des Brandversuchs ohne Verlust der Tragfähigkeit, weil drei Seiten (Ost, Süd, West) auf den Ytong-Steinen aufliegen, die die Brandraumwand schützen.

Die Bilder 2.3.1.1 bis 2.3.1.11 zeigen die Zerstörungen des Prüfkörpers FD 1.

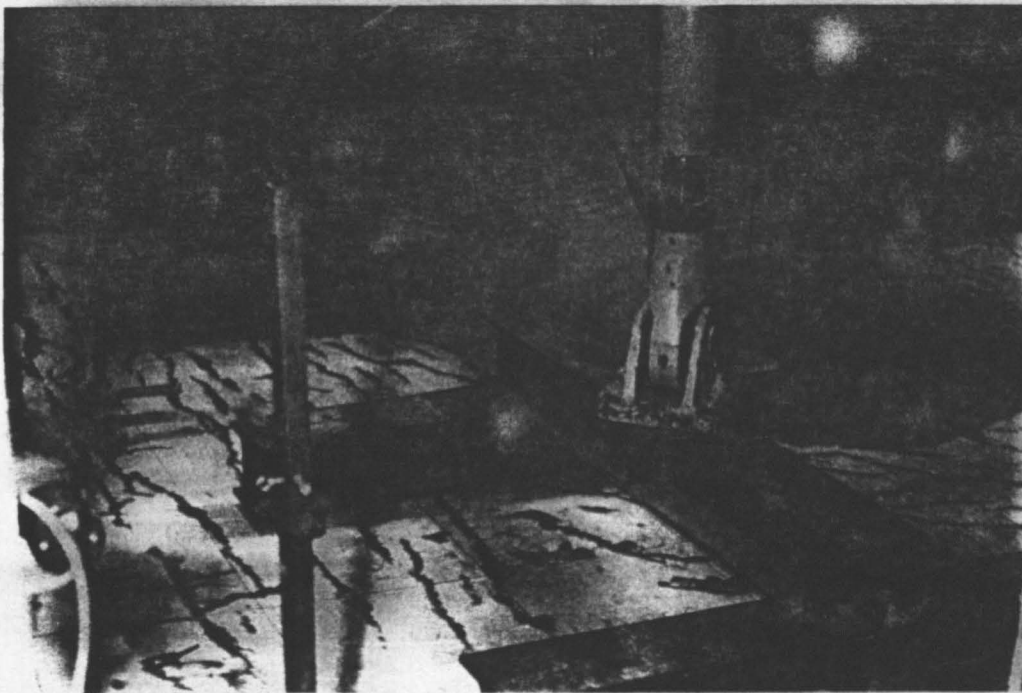
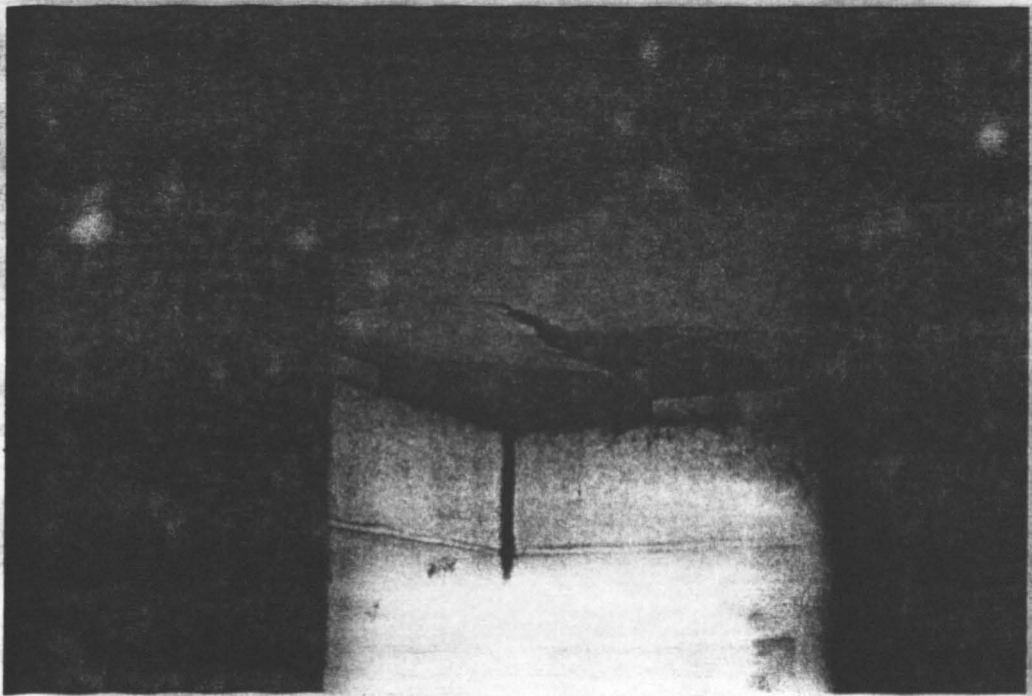
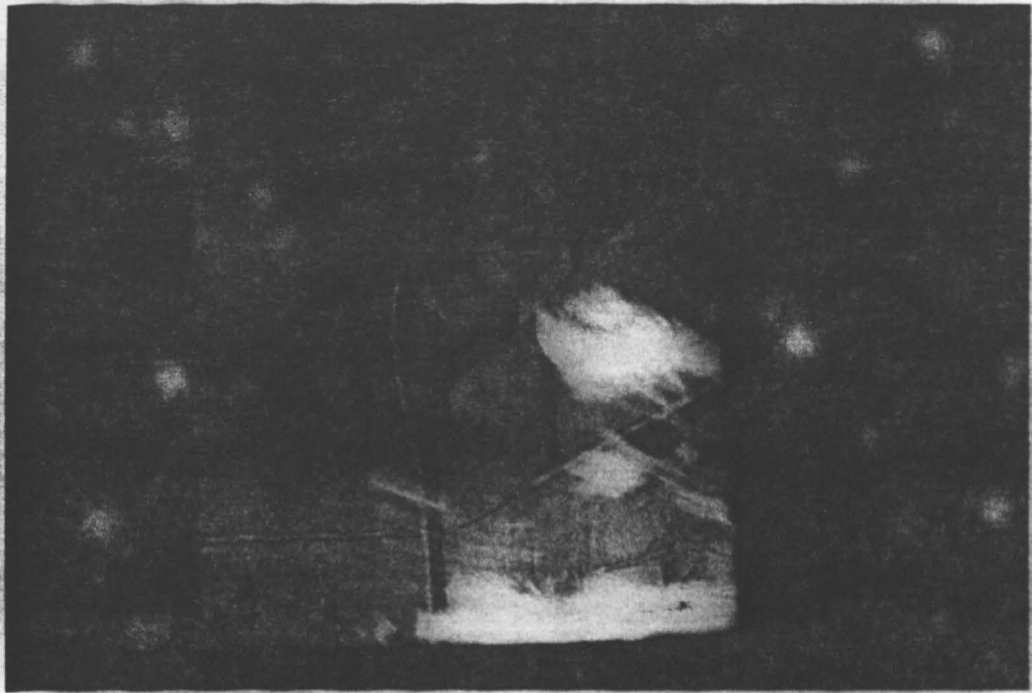


Bild 2.3.1.1:

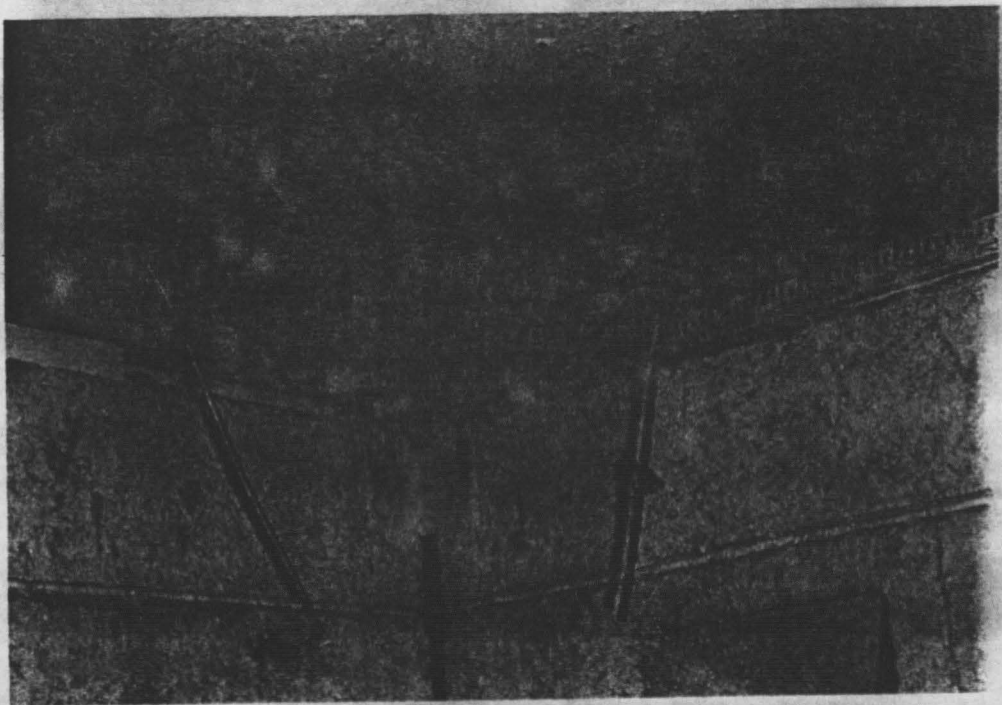
Plattenoberseite während des Brandversuchs



Bilder 2.3.1.2 und 2.3.1.3:  
Südost- und Nordwestecke während des Brandversuchs

Bilder 2.3.1.2 und 2.3.1.3:

Südost- und Nordwestecke während des Brandversuchs



Bilder 2.3.1.4 und 2.3.1.5:

Unterseite der Südost- und der Südwestecke nach dem Brandversuch

Bilder 2.3.1.6 und 2.3.1.7:

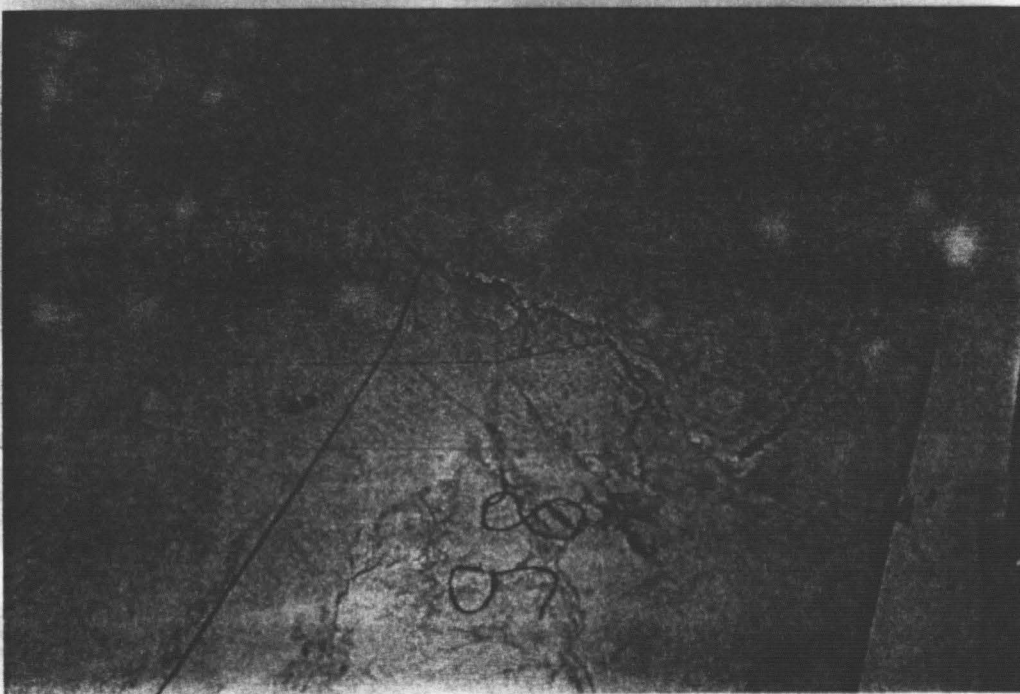
Unterseite der Nordost- und der Nordwestecke nach dem Brandversuch





Bilder 2.3.1.6 und 2.3.1.7:

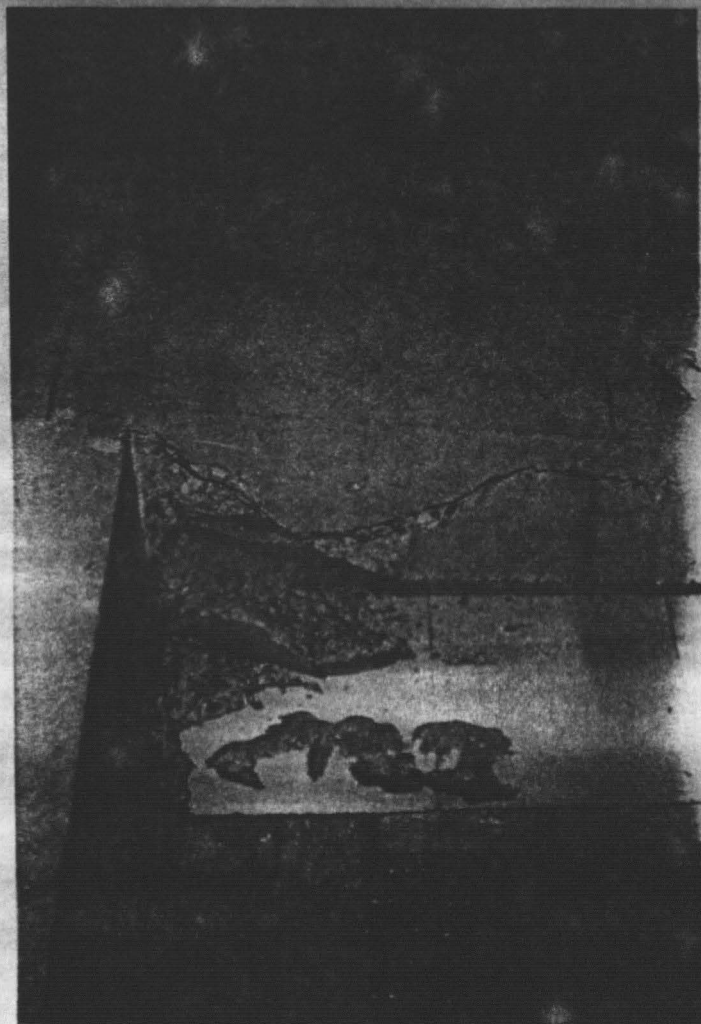
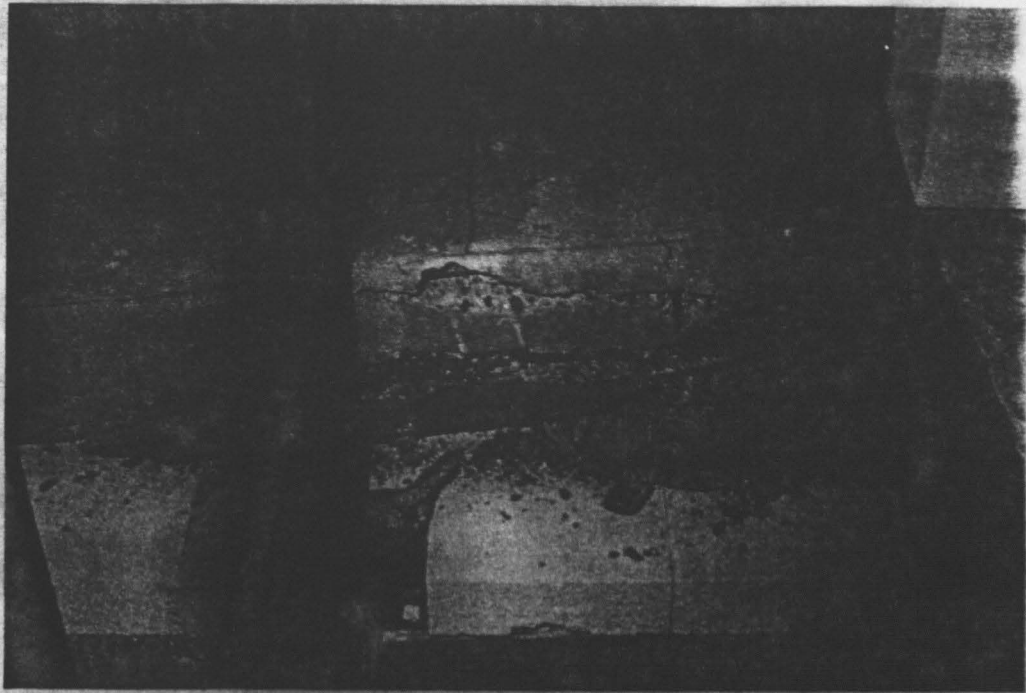
Unterseite der Nordost- und der Nordwestecke nach dem Brandversuch



Bilder 2.3.1.8 und 2.3.1.9:

Oberseite der Südwest- und der Nordwestecke nach dem Brandversuch





Bilder 2.3.1.10 und 2.3.1.11

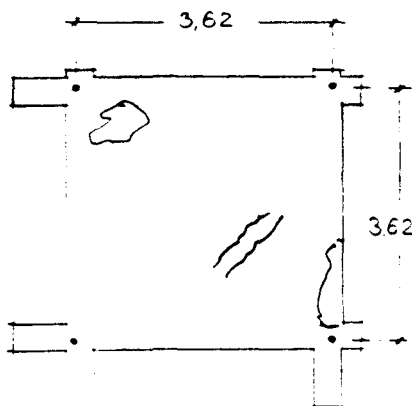
Westlicher Plattenrand, südliches und nördliches Ende, nach dem Brandversuch

### 2.3.2 Platte FD 2

Der Versuch wurde am 9.6.1988, rd. 8 Monate nach dem Betonieren des Prüfkörpers durchgeführt.

#### Versuchsbeobachtungen

- 5. Min: Diagonalrisse an den Ecken
- 11. Min: Beginn des metallischen Knackens
- 15. Min: Knacklaute werden lauter; Beton ist auf der Plattenunterseite verrußt, ein dichtes netzartiges Rißmuster ist im Ruß sichtbar.
- 18. Min: Ruß brennt weg, Plattenunterseite wird hell.
- 21. Min: Wasseraustritt an der Oberfläche in Plattenmitte und an den Rissen, parallel zum Rand (75 - 100 cm vom Rand).
- 23. Min: Plattenunterseite in der Mitte vollkommen hell, über dem Ofenrand noch schwarz.
- 28. Min: Abplatzung in der Nord-West-Ecke, ca. 5 cm tief.
- 43. Min: Abplatzung an der Süd-Ost-Ecke am äußersten Ost-Rand, von der Ecke ausgehend.  
Gleichzeitig mit der Abplatzung (Süd-Ost-Ecke) ist die Plattenunterseite aufgerissen: klaffender Riß, Länge ca. 1 m, zwischen Zentrum und Süd-Ost-Ecke.



man könnte eine Hand hineinstecken

65. Min: Deutliche Rißbildung an der Süd-West-Ecke, oben.
150. Min: Stütze des Aussteifungskreuzes im Süden steht schief; U-Eisen reißt wieder an der Schweißnaht.  
Platte reißt parallel zum Südrand weiter auf; vorhandene randparallele Risse öffnen sich.
155. Min: Süd-West-Ecke: deutlich zu erkennen, wie sich der Beton des Plattenfeldes über den Beton der "gesunden" Ecke schiebt.
189. Min: Brandversuch-Ende ohne Versagen.

Die Bilder 2.3.2.1 bis 2.3.2.9 zeigen die Zerstörungen am Prüfkörper FD 2.



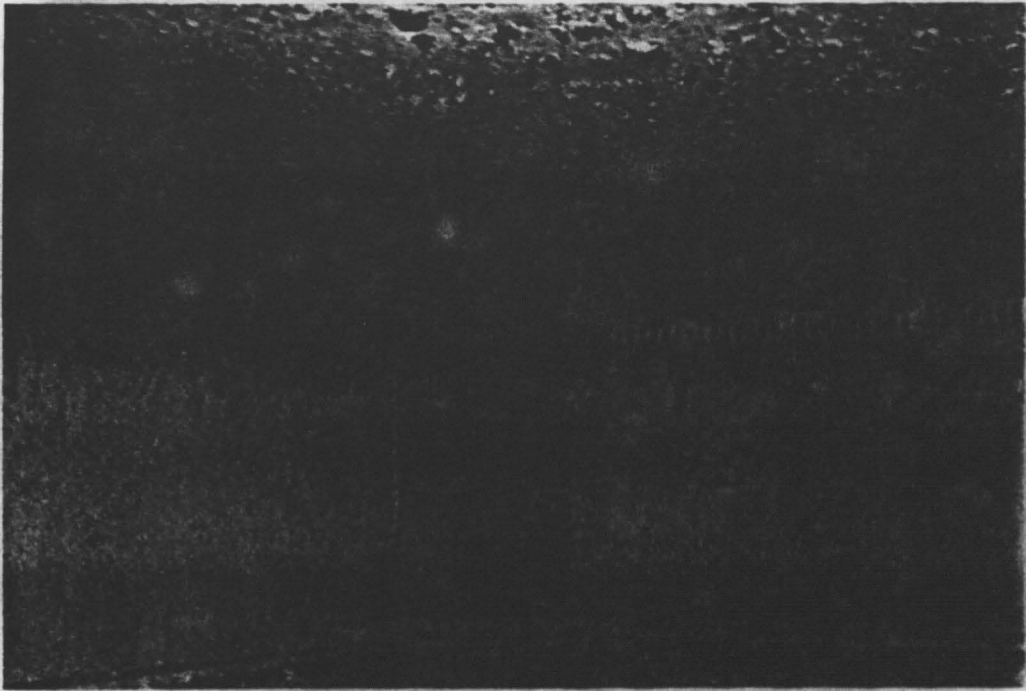
Bild 2.3.2.1: Südost-Ecke während des Brandversuchs





Bilder 2.3.2.2 und 2.3.2.3:

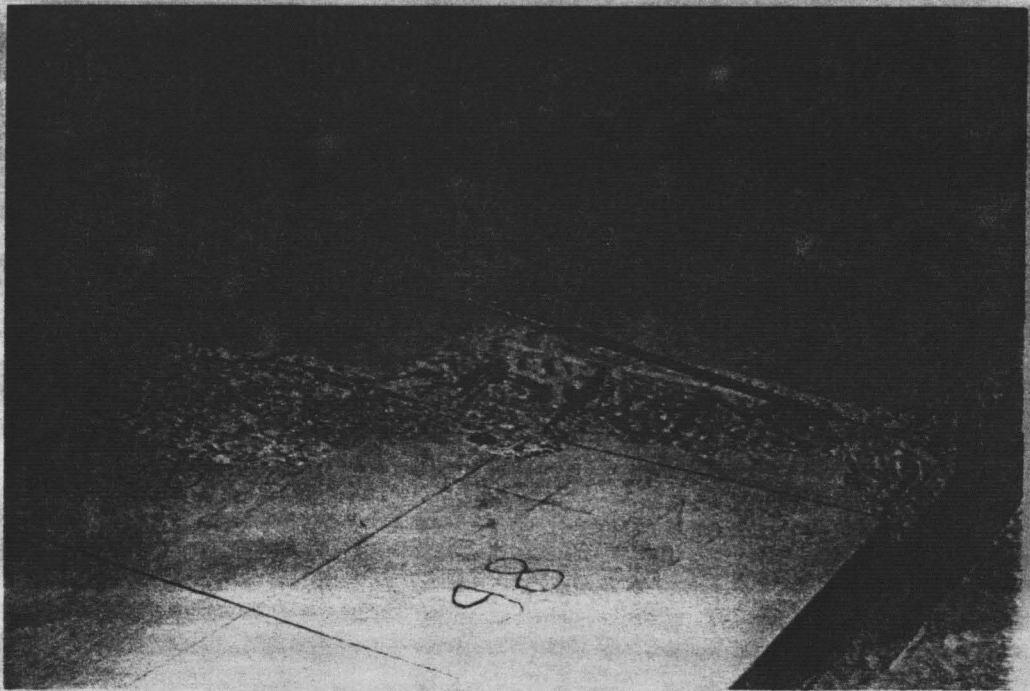
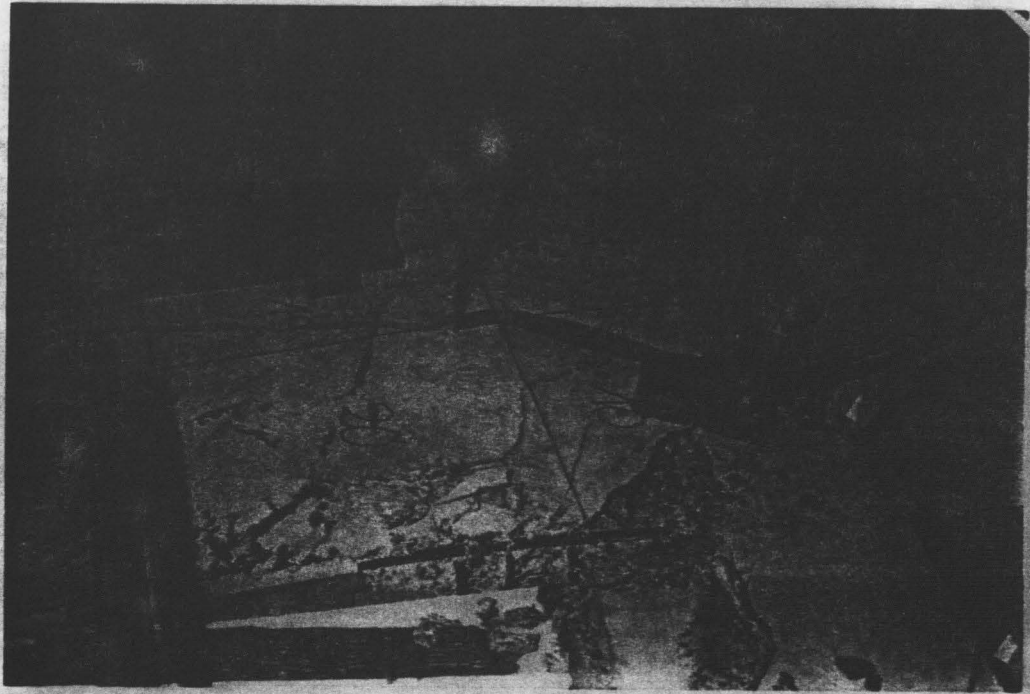
Unterseite der Südost- und der Südwestecke nach dem Brandversuch



Bilder 2.3.2.4 und 2.3.2.5:

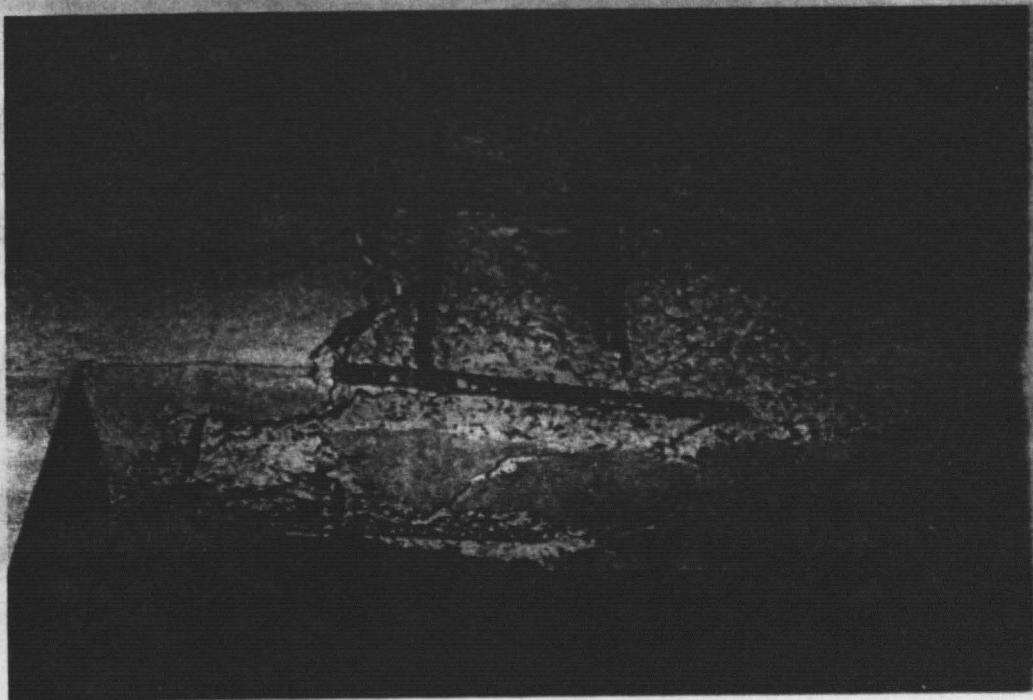
Unterseite der Nordost- und der Nordwestecke nach dem Brandversuch





Bilder 2.3.2.6 und 2.3.2.7:

Oberseite der Südwest- und der Nordwestecke (von Südosten) nach dem Brandversuch



Bilder 2.3.2.8 und 2.3.2.9:

Oberseite und Rand (westlich) der Northwest-Ecke nach dem Brandversuch (von Süden und von Westen)

### 2.3.3 Meßergebnisse

Es werden nur die für die Beurteilung wichtigsten Meßergebnisse wiedergegeben. Durch die örtlichen Zerstörungen (Abplatzungen) wurden die Messungen teilweise erheblich gestört. Immer aber waren die gleichen Tendenzen erkennbar wie bei den nachfolgend dargestellten Verläufen, die daher als repräsentativ angesehen werden können.

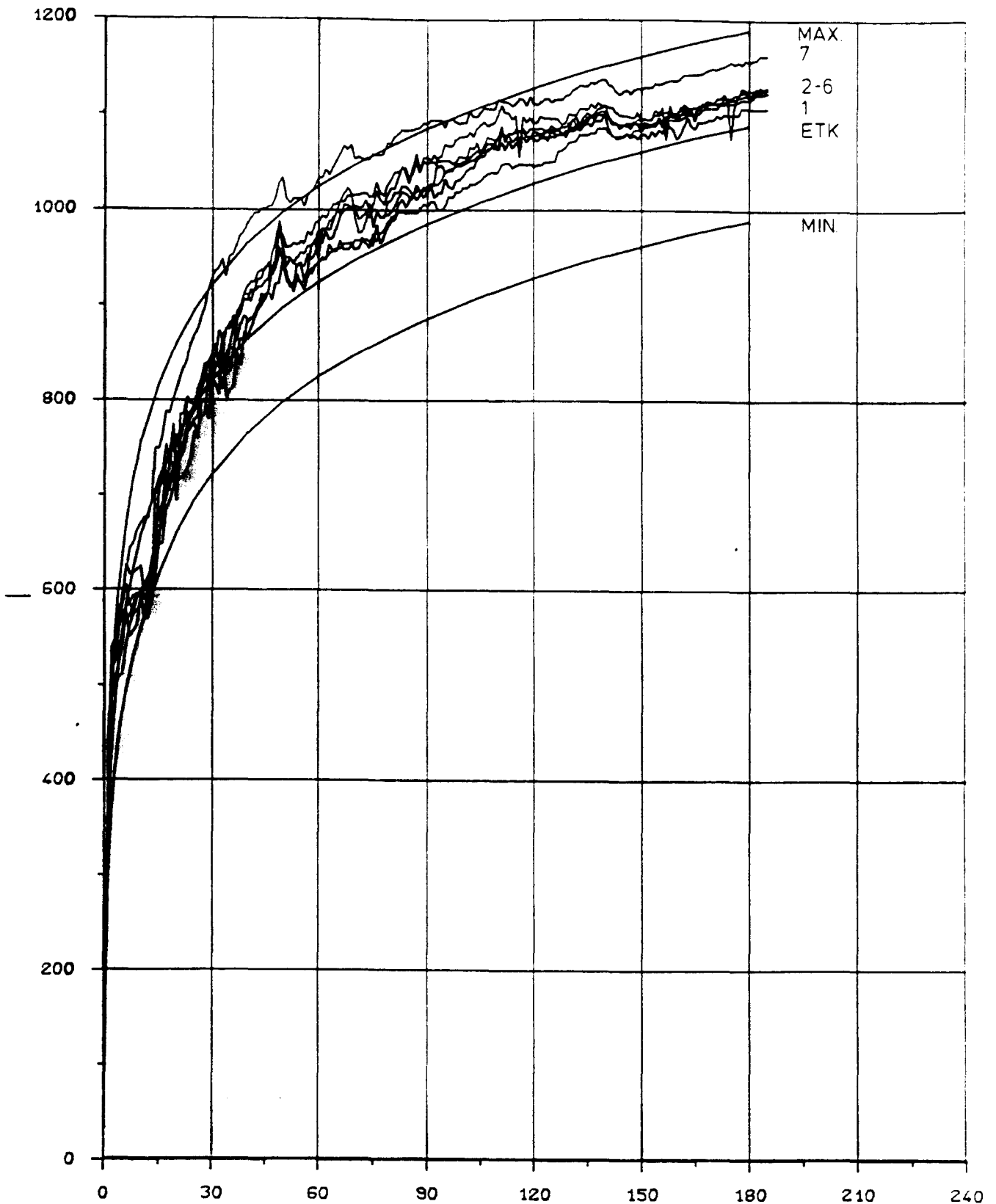
#### 2.3.3.1 Brandraumtemperatur

Auf den Bildern 2.3.3.1 bis 2.3.3.3 ist der Verlauf der Brandraumtemperatur dargestellt. Es zeigt sich, daß im Feldbereich - abgesehen von einer Meßstelle, die vermutlich gestört war - der Toleranzbereich der Einheitstemperaturzeitkurve gut eingehalten wurde. Im Bereich über den Ofenwänden liegt die Temperatur niedriger als im Feld, da die Masse der Wände mit erwärmt werden mußte, was auf die Heißgastemperatur dämpfend wirkte.

#### 2.3.3.2 Temperatur im Prüfkörper

Bild 2.3.3.4 zeigt den Temperaturverlauf an der untenliegenden, Bild 2.3.3.5 den an der oberen Feldbewehrung. Der Verlauf an der oberen Bewehrung des Gurtstreifens (Feldmitte) ist auf Bild 2.3.3.6 wiedergegeben. In den Plattenecken bestand die obere Bewehrung aus drei Lagen. Bild 2.3.3.7 zeigt deutlich die unterschiedliche Temperaturentwicklung in den drei Lagen.

Auf Bild 2.3.3.8 werden die Temperaturgradienten im Betonquerschnitt (Feldmitte) nach 15, 30, 60, 120 und 180 min Normbrandbeanspruchung dargestellt, die aus den Messungen des Temperaturverlaufs an Meßstellen unterschiedlicher Höhenlage gewonnen wurden.

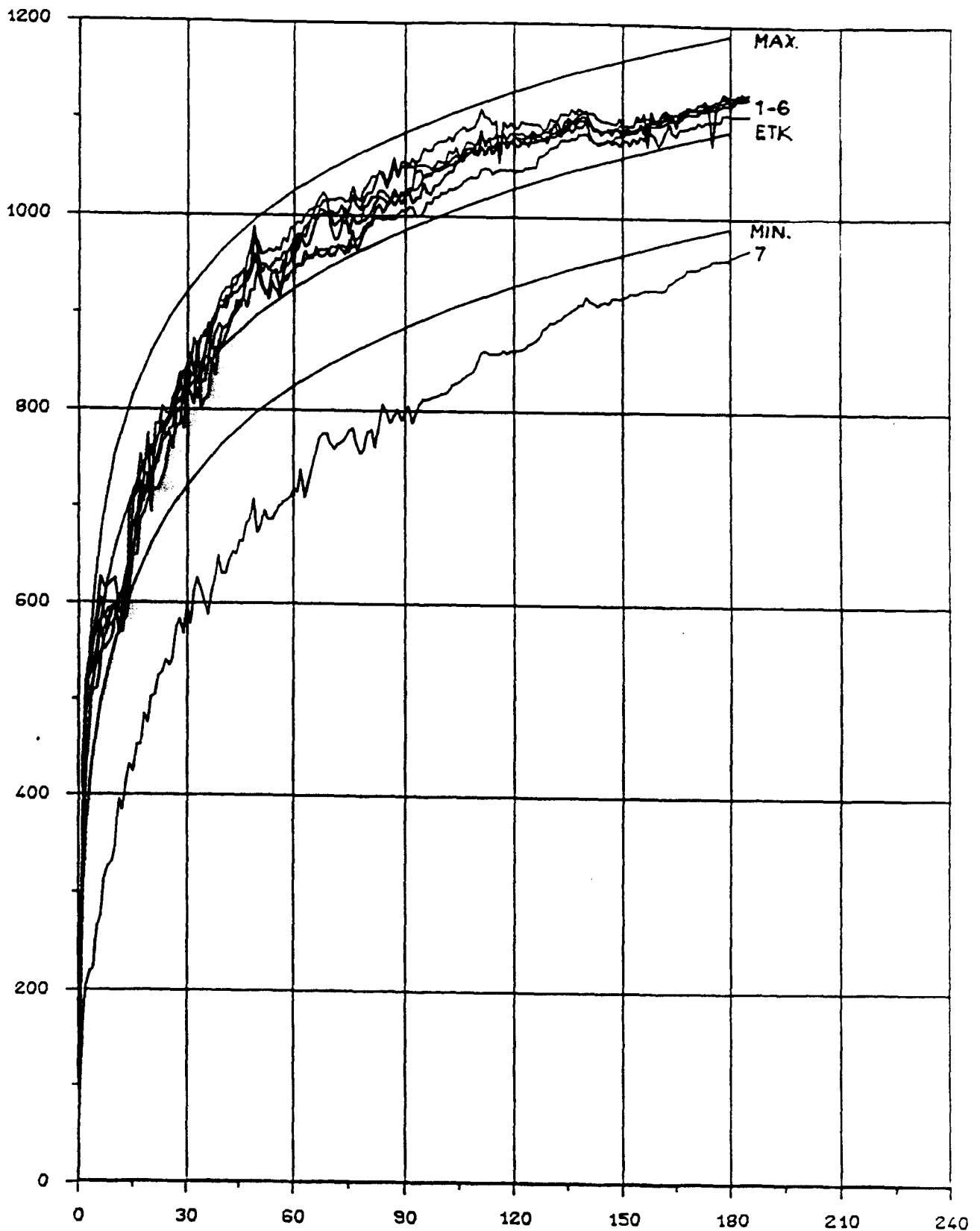


Punktförmig gestützte Platten im Feuer

Versuchskörper  
FD 1

Verlauf der Brandraumtemperatur  
Feldbereich

Bild  
2.3.3 / 1



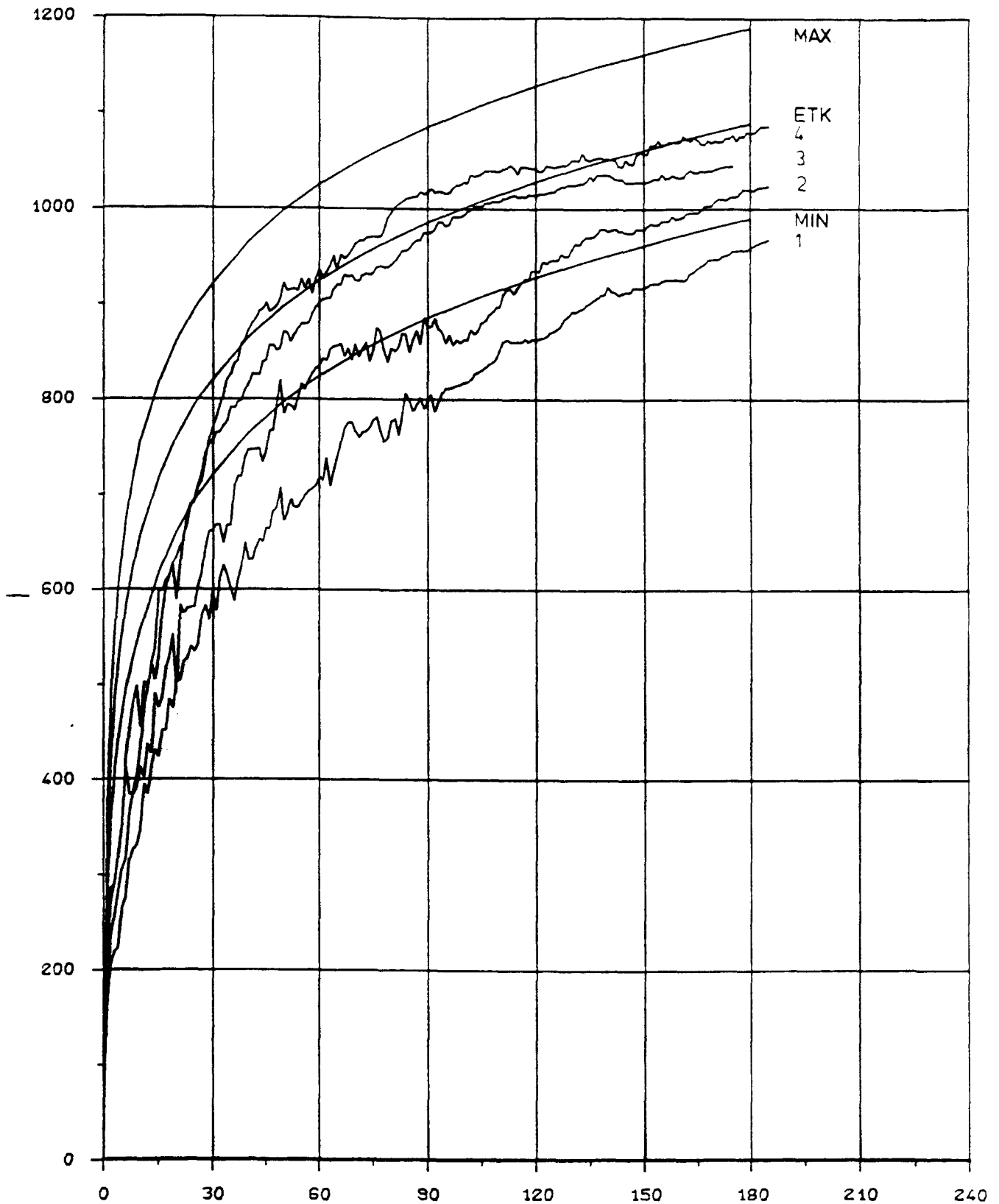
Punktförmig gestützte Platten im Feuer

Versuchskörper

FD2

Verlauf der Brandraumtemperatur  
Feldbereich

Bild  
2.3.3/2



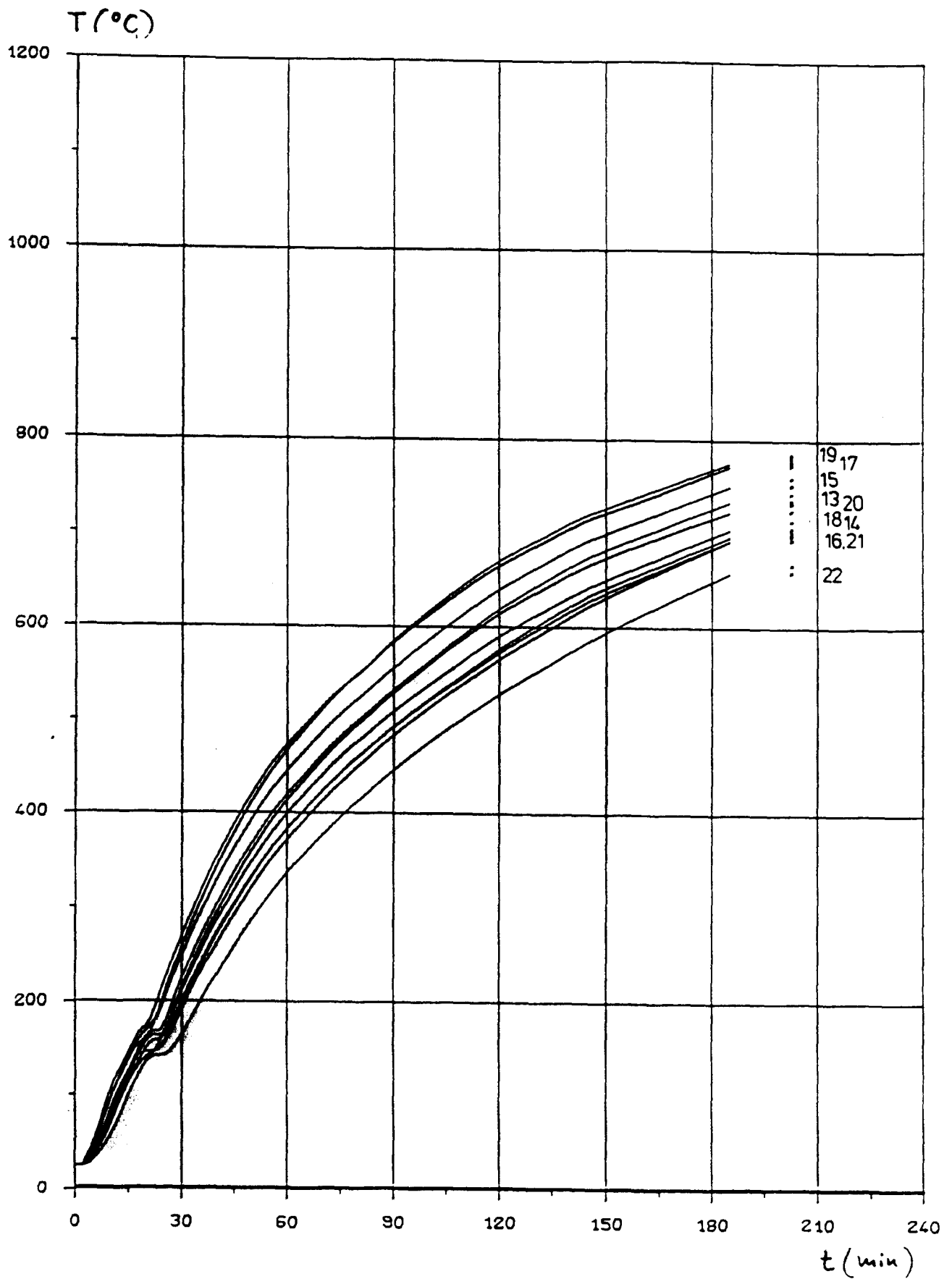
Punktförmig gestützte Platten im Feuer

Versuchskörper  
FD1

Verlauf der Brandraumtemperatur  
über den Ofenwänden

Bild  
2.3.3/3



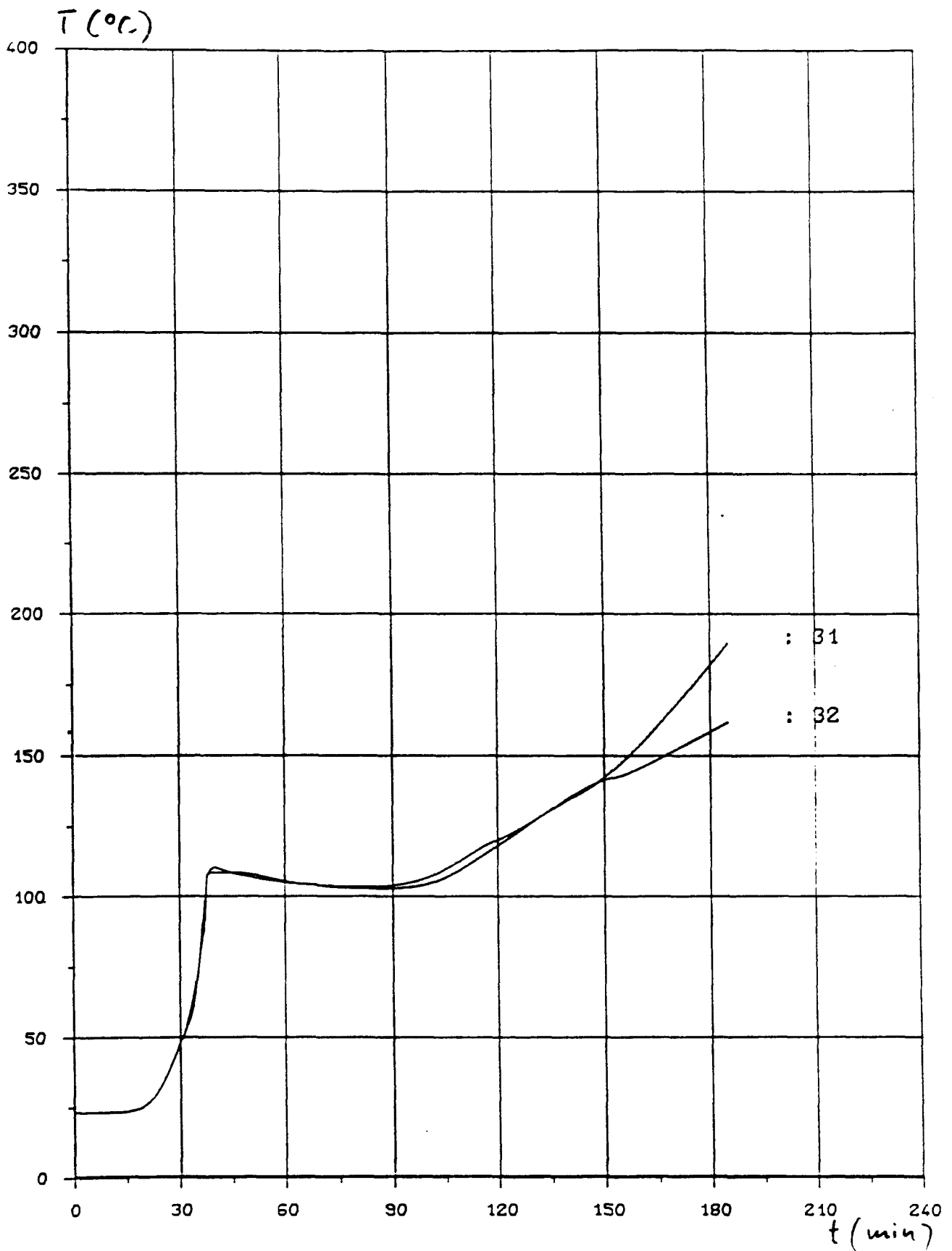


Punktförmig gestützte Platten im Feuer

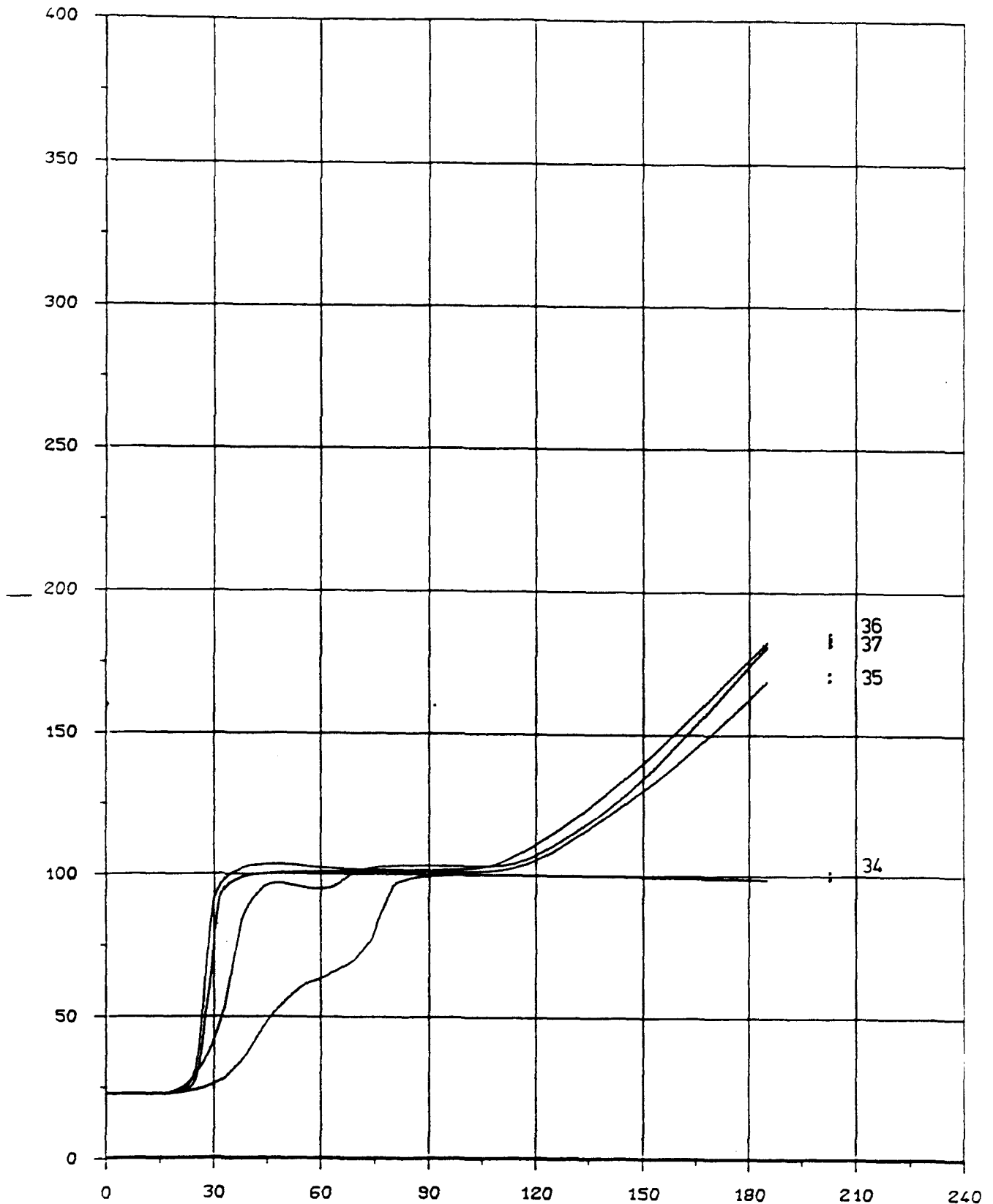
Versuchskörper  
FD 1

Temperaturverlauf an der unteren Bewehrung  
Feldmitte, Baustahlgewebe

Bild  
2.3.3/4



Punktförmig gestützte Platten im Feuer	Versuchskörper FD 1
Temperaturverlauf an der oberen Bewehrung Feldmitte, Stäbbewehrung	Bild 2.3.3/5

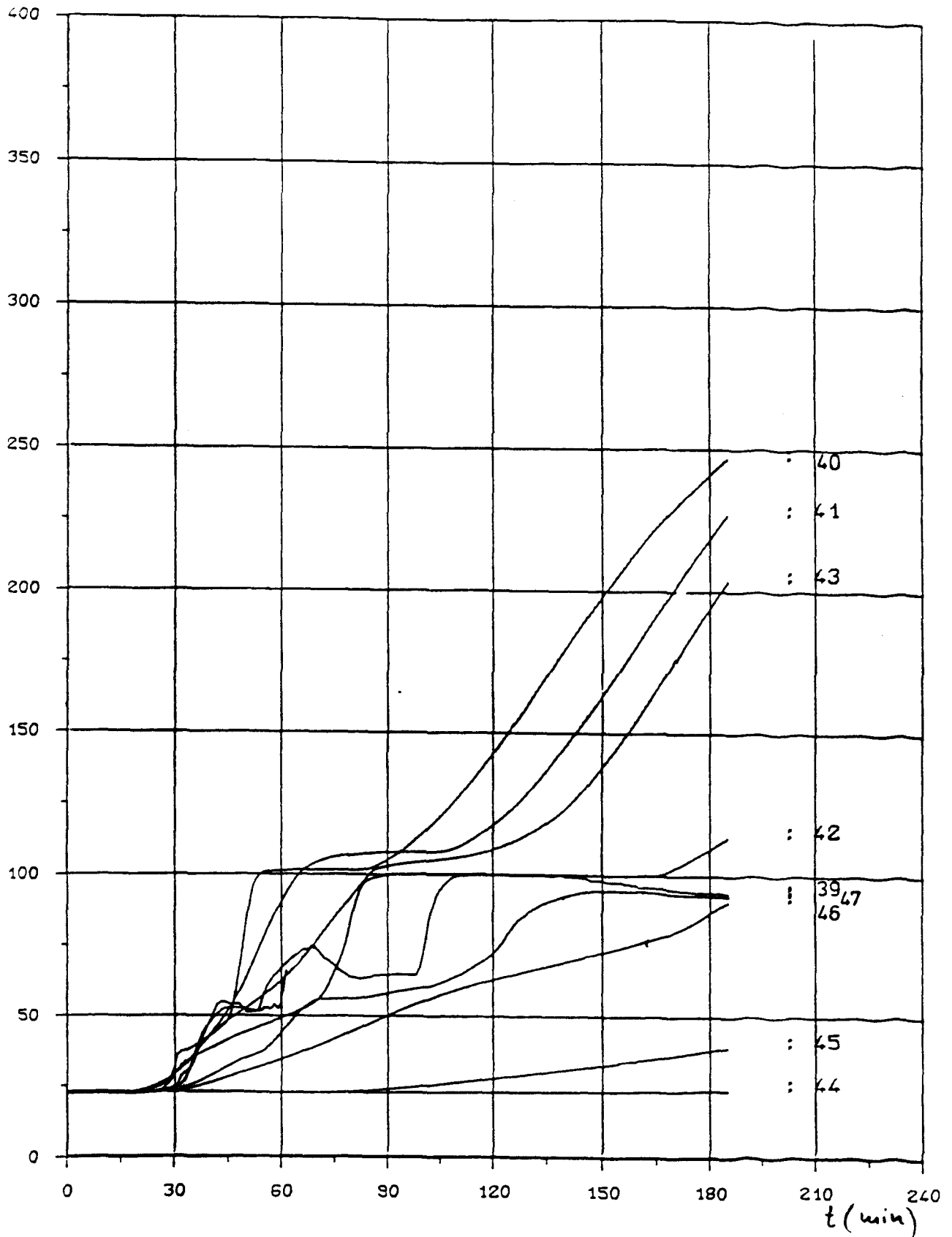


Punktförmig gestützte Platten im Feuer

Versuchskörper  
FD 1

Temperaturverlauf an der oberen Bewehrung  
Punktförmig gestützte Platten

Bild  
2.3.3/6

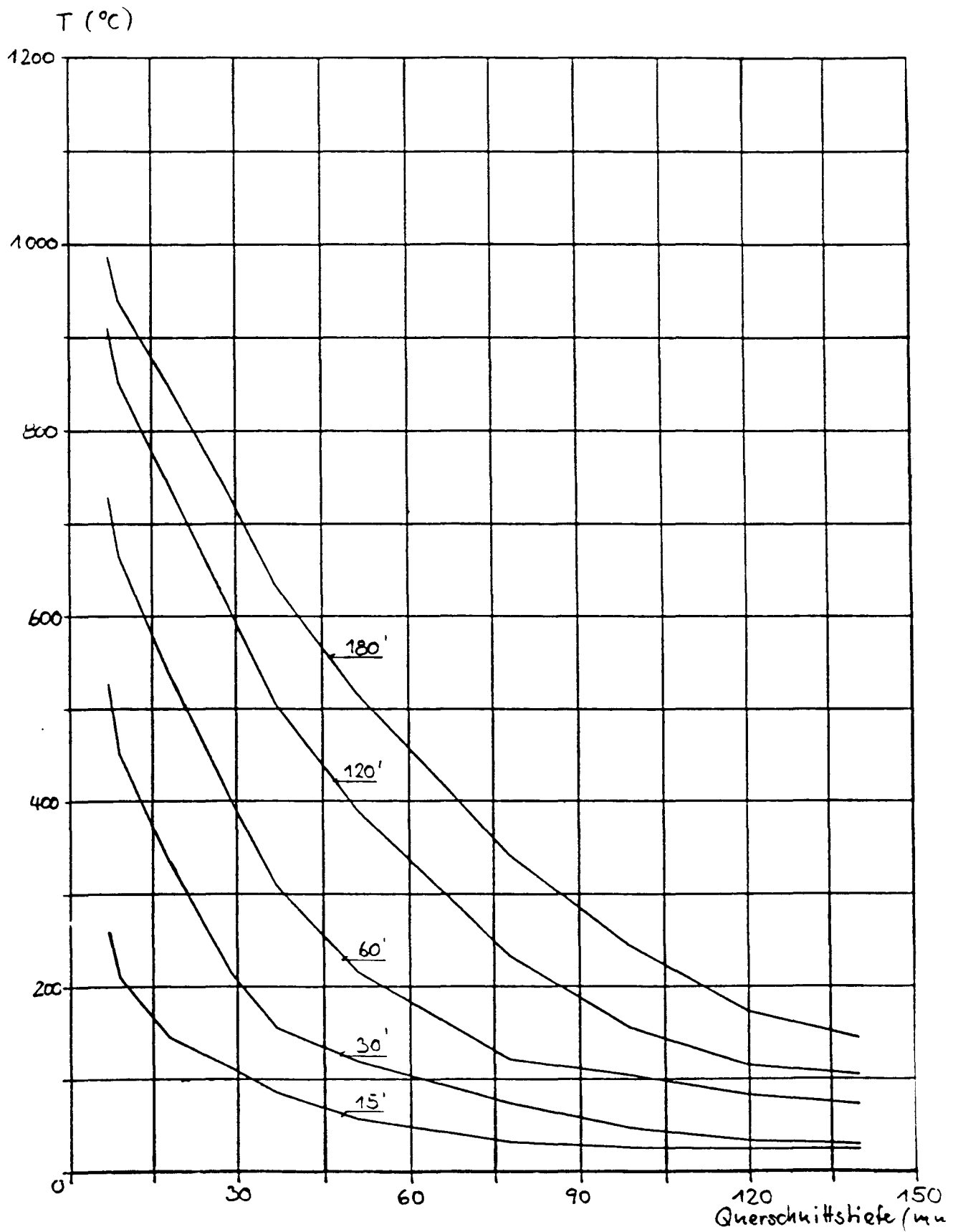
$T(^{\circ}\text{C})$ 

Punktförmig gestützte Platten im Feuer

Versuchskörper  
FD 1

Temperaturverlauf an der oberen Bewehrung  
Plattenecke, Stäbbewehrung

Bild  
2.3.3/7



Punktförmig gestützte Platten im Feuer

Versuchskörper

FD 1

Temperaturgradienten im Beton  
Feldmitte

Bild

2.3.3/8

### 2.3.3.3 Durchbiegung und Randneigung der Prüfkörper

Auf Bild 2.3.3.9 ist der Verlauf der Mitten- und Randdurchbiegung, auf Bild 2.3.3.10 der etwas detailliertere für jeweils ein Plattenviertel der beiden Prüfkörper dargestellt. Mit Hilfe der auf Bild 2.3.3.11 gezeigten Querneigungen der Randmitten wurden daraus auf Bild 2.3.3.12 Biegelinien des Versuchskörpers FD 1 in ausgesuchten Schnitten zu verschiedenen Brandbeanspruchungszeiten konstruiert.

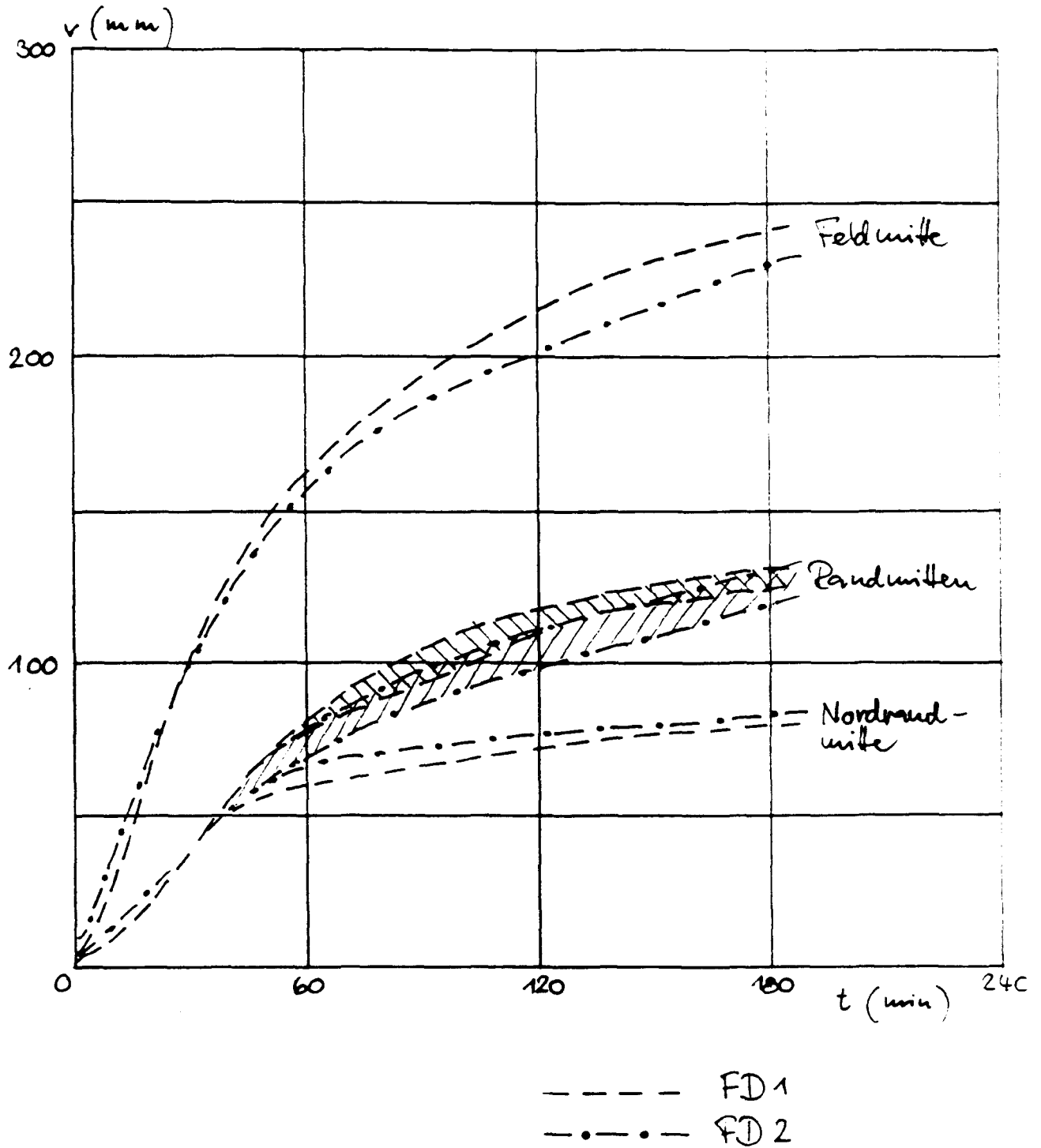
### 2.3.3.4 Dilatation der Prüfkörper

Bild 2.3.3.13 zeigt die an den Randmitten gemessenen Horizontalverformungen und die auf den Grundriß bezogene Gesamtverlängerung in Nord-Süd- und West-Ost-Richtung. An den Ecken war keine Verlängerung möglich, eine Verkürzung trat nicht auf (negative Werte in Bild 2.3.3.13 bedeuten Verlängerung).

### 2.3.3.5 Stahldehnungen

Die temperaturbereinigten Dehnungen und entsprechenden Spannungen der oberen Bewehrung in den Plattenecken sind auf Bild 2.3.3.14 dargestellt. Es zeigt sich eine starke Streuung und Unstetigkeit der Meßwerte, hervorgerufen durch die Zerstörungen im unteren Plattenquerschnitt. Nachdem der Spannungsanstieg zunächst wie bei einem randgestützten System verlief, also eine Umlagerung der Schnittkräfte stattfand, wurde sie durch die Zerstörungen unterbrochen, und es fand eine Entlastung statt. Nimmt man eine Mittelwertbildung vor, so ergibt sich eine Stahlspannung von weniger als  $250 \text{ N/mm}^2$ .

Auf Bild 2.3.3.15 sind die entsprechenden Werte für die obere Bewehrung in Randmitte - die "Einspannbewehrung" des Feldstreifens - angegeben. Die Meßwertstreuung ist hier wesentlich geringer, und die mittlere Spannung steigt bis auf Werte nahe der Fließspannung an. Die thermische Schnittkraftumlagerung fand hier ungestört statt. In späteren Versuchstadien - ab etwa 100 min - bauten sich die Spannungen infolge von Kriecheffekten wieder ab.

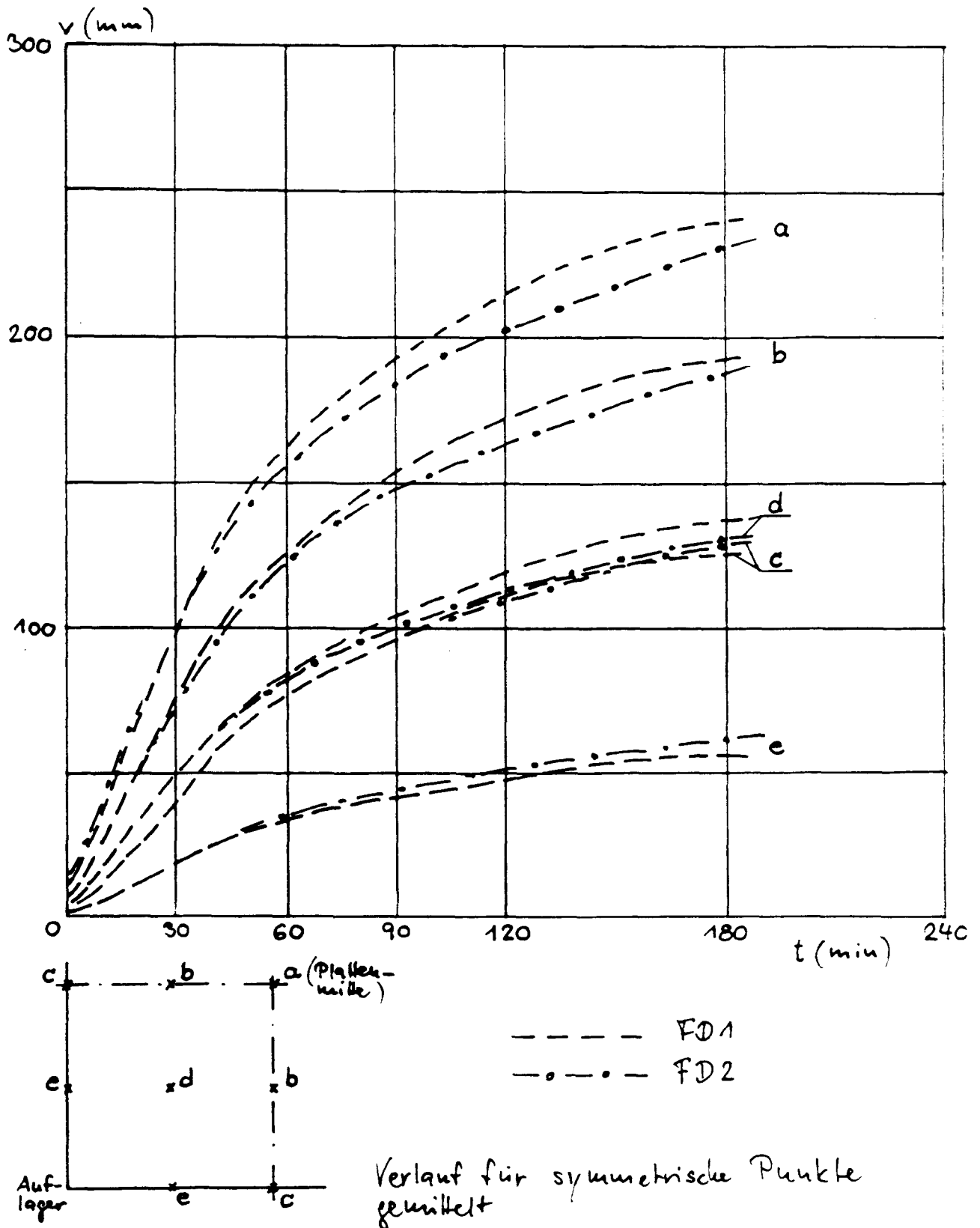


Punktförmig gestützte Platten im Feuer

Versuchskörper  
FD1 + FD2

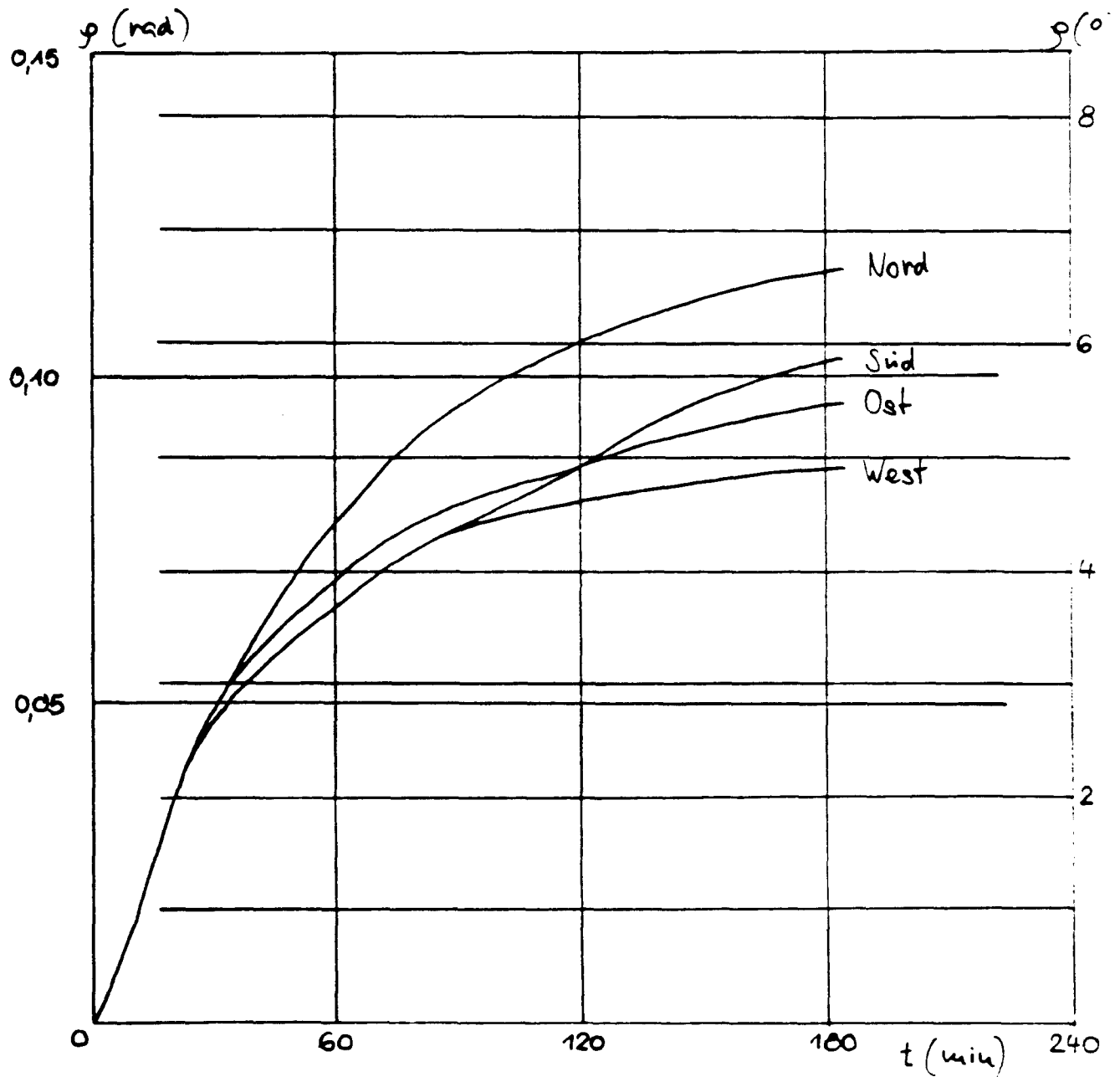
Verlauf der Vertikalverformungen

Bild  
2.3.3/9

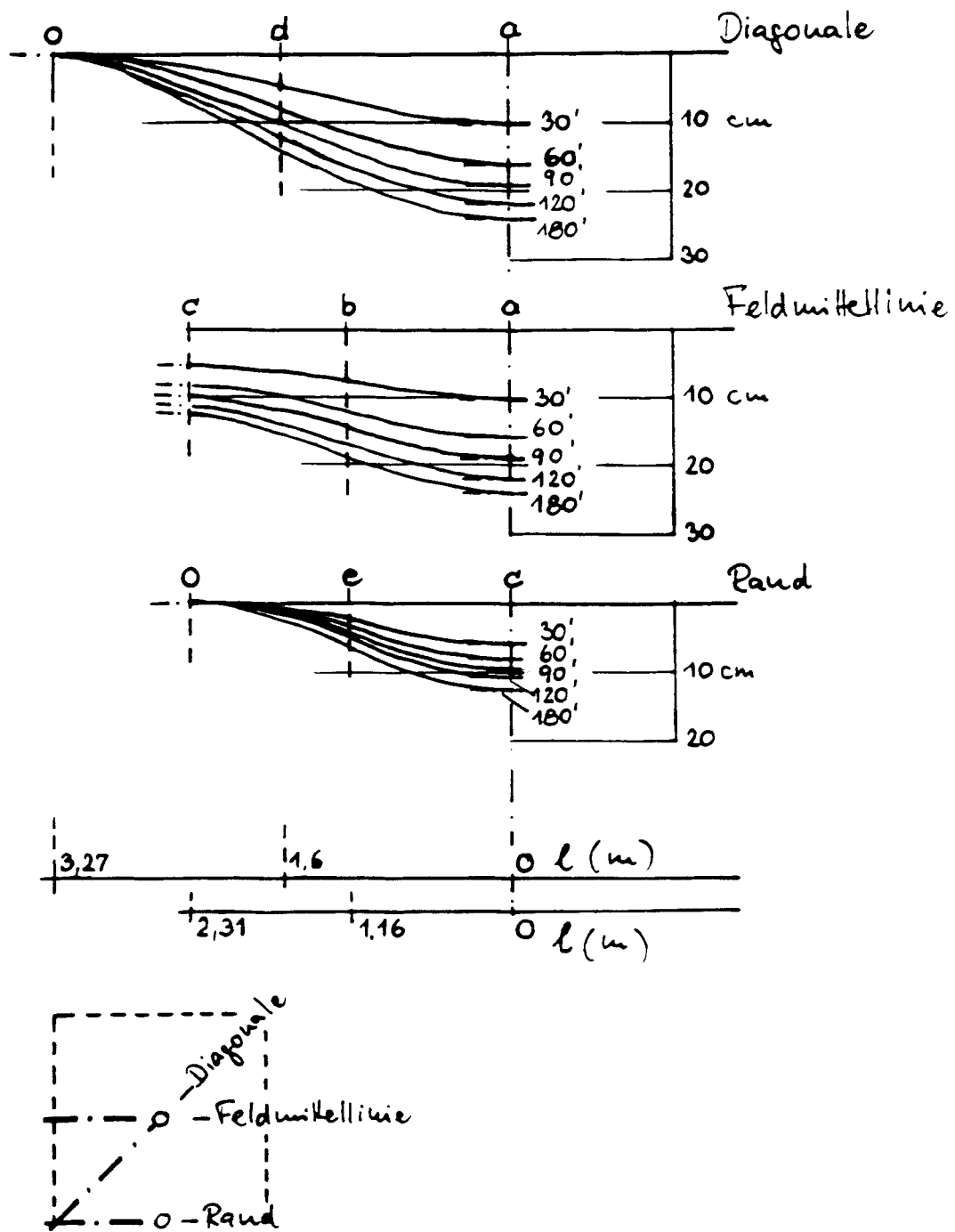


Punktförmig gestützte Platten im Feuer	Versuchskörper FD1 + FD2
Verlauf der Vertikalverformungen südwestliches Plattenviertel	Bild 2.3.3/10





Punktförmig gestützte Platten im Feuer	Versuchskörper FD 1
Verlauf der Plattenneigung Randmitten	Bild 2.3.3/11 06/11/2014

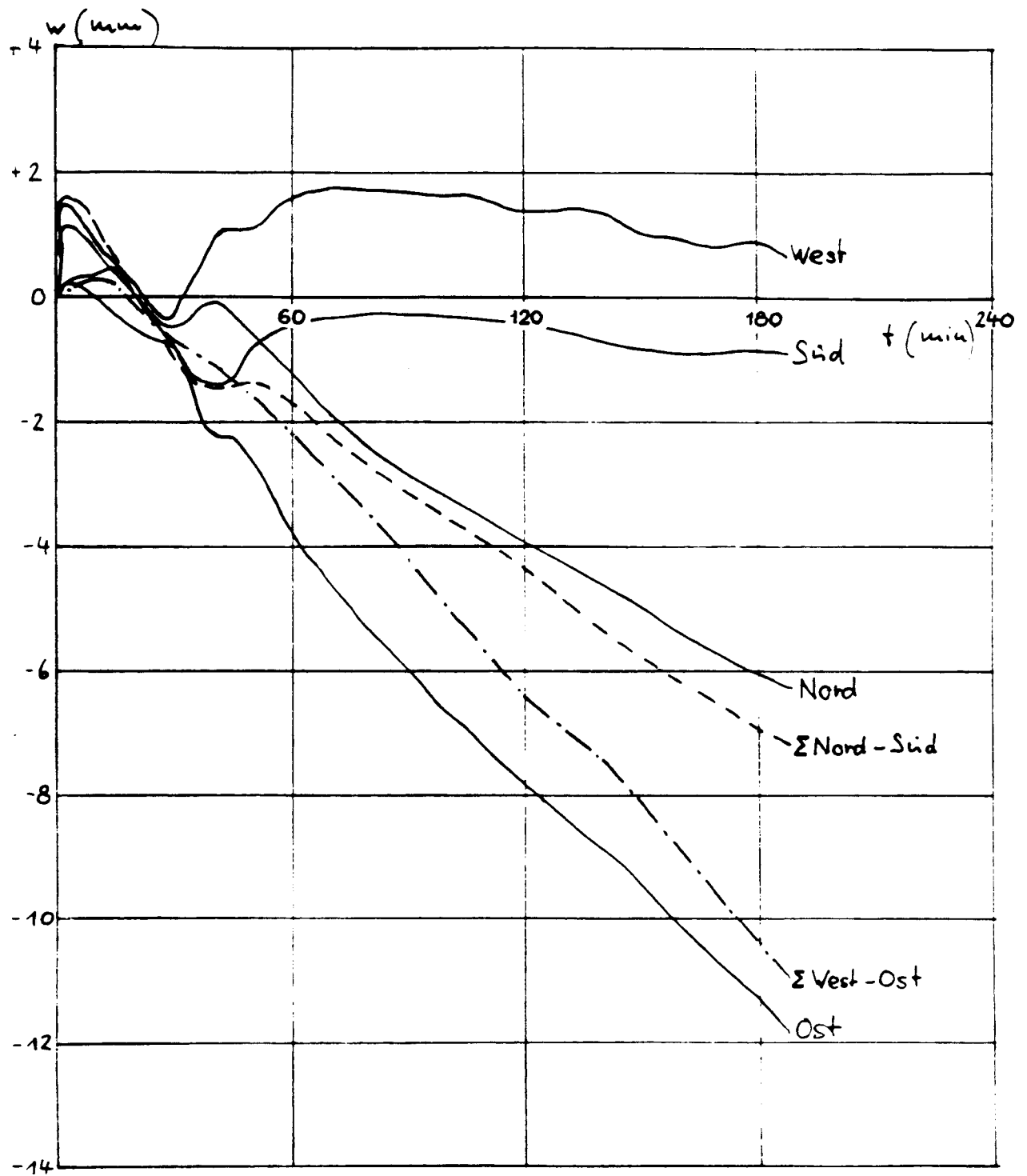


Punktförmig gestützte Platten im Feuer

Versuchskörper  
FD 1

Biegelinien in ausgesuchten Schnitten

Bild  
2.3.3/12 2014

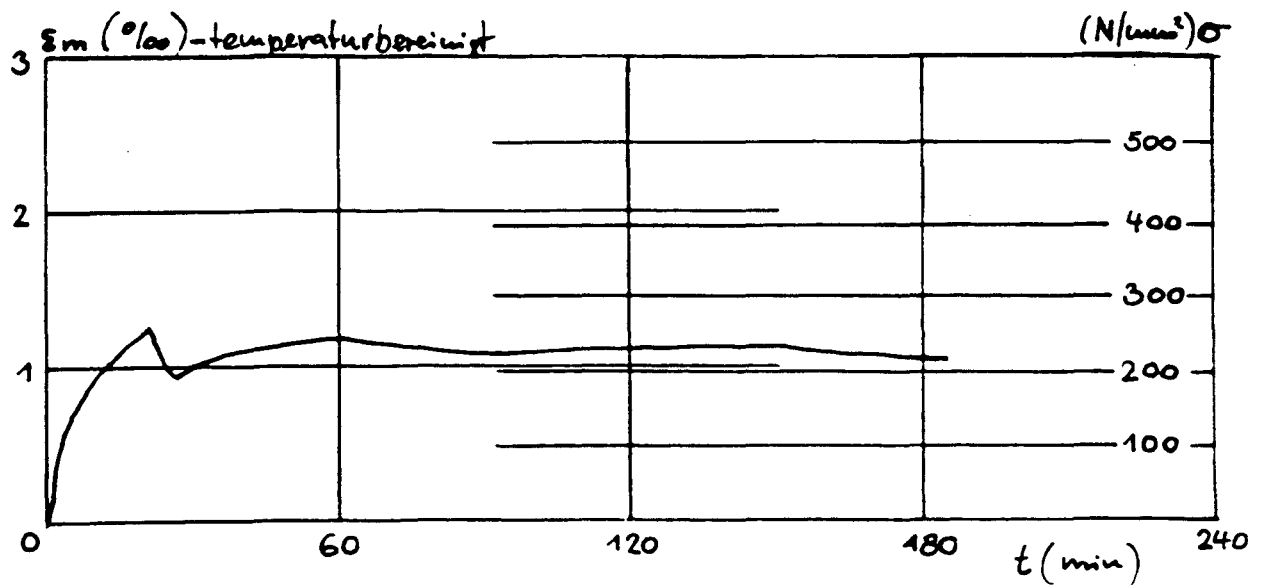
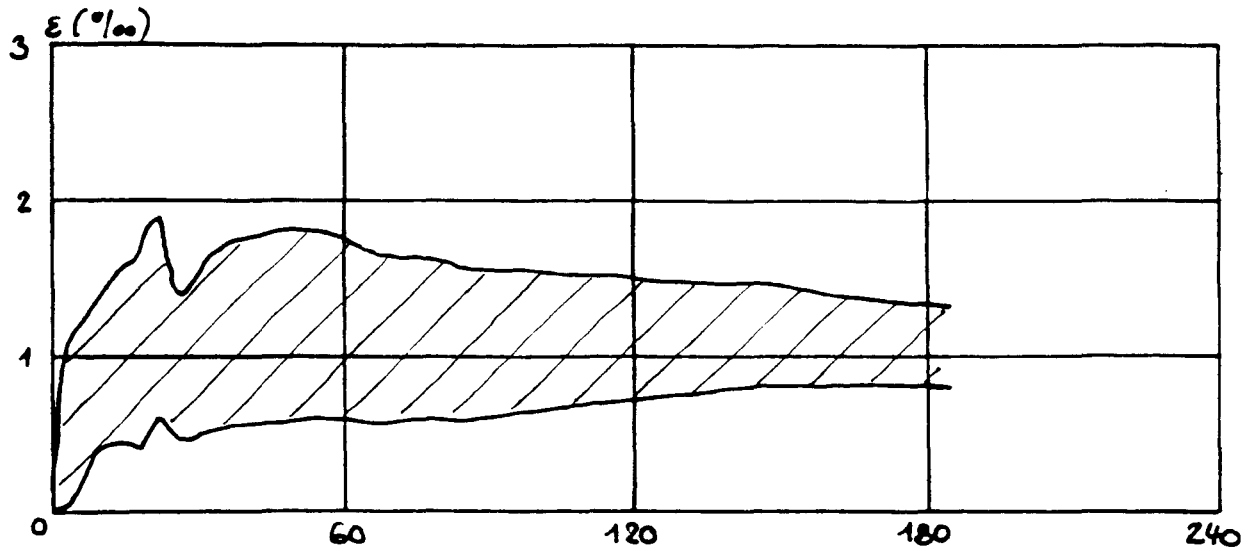
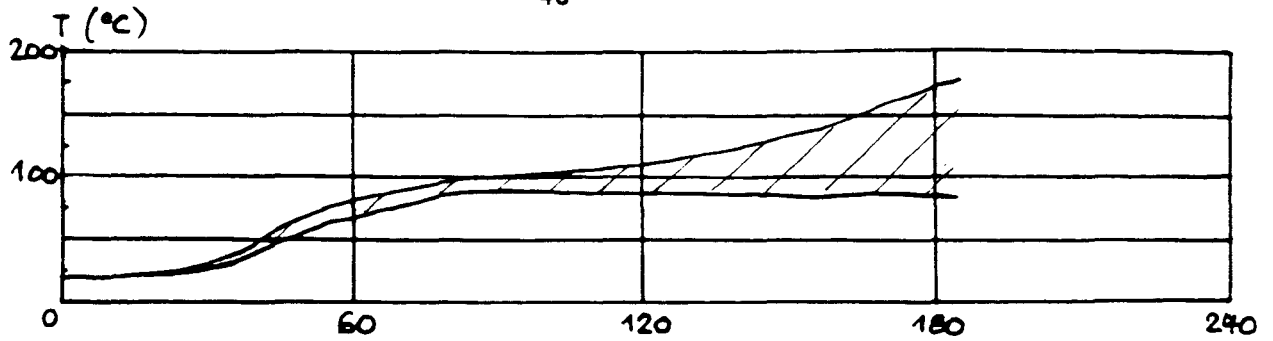


Punktförmig gestützte Platten im Feuer

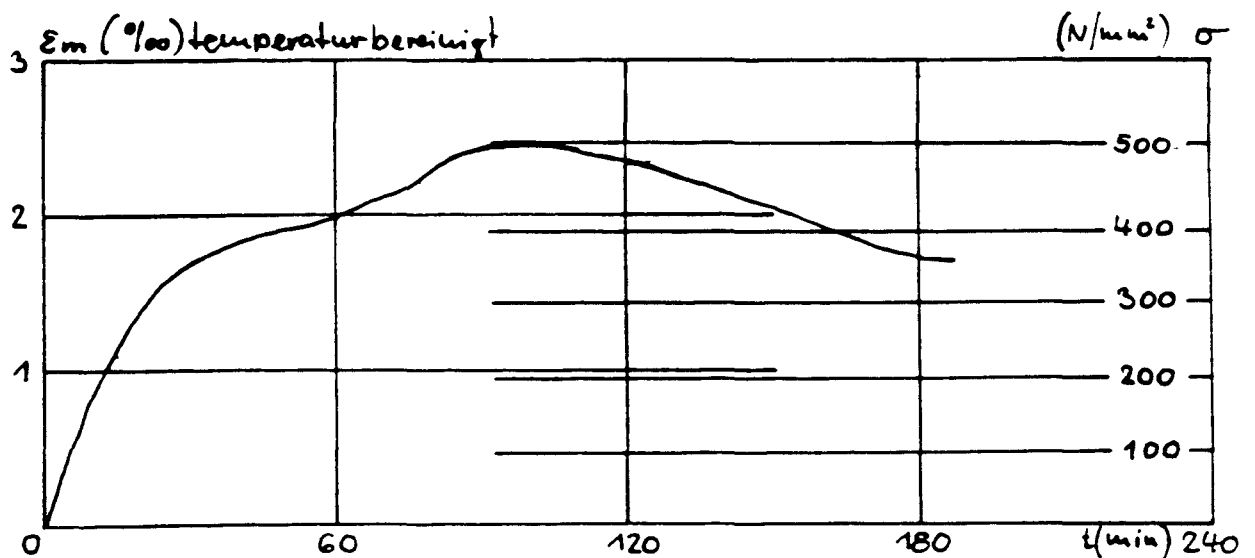
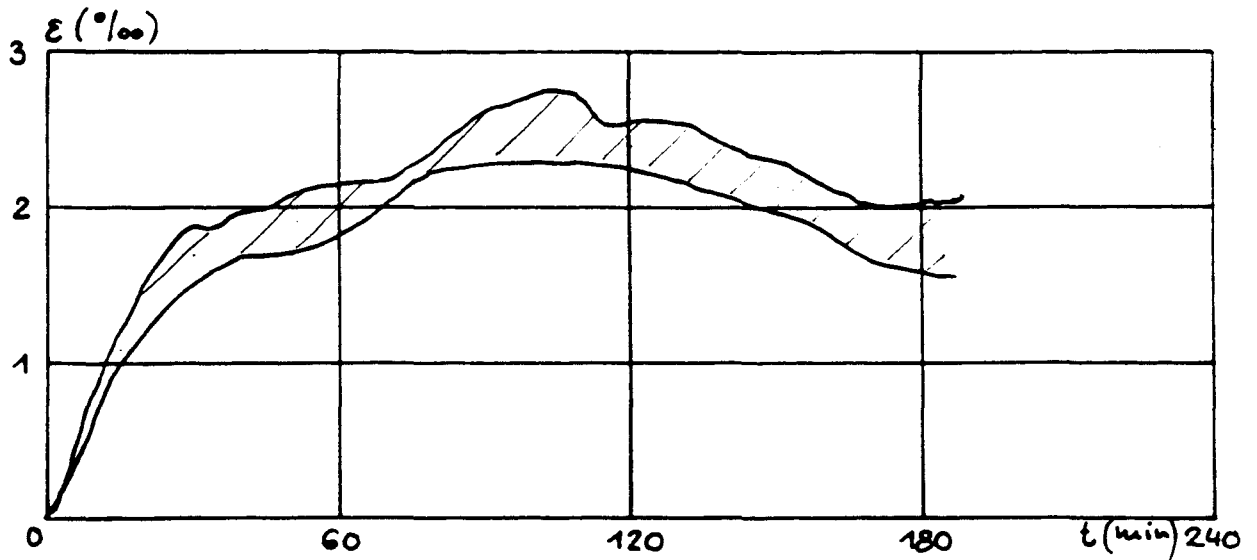
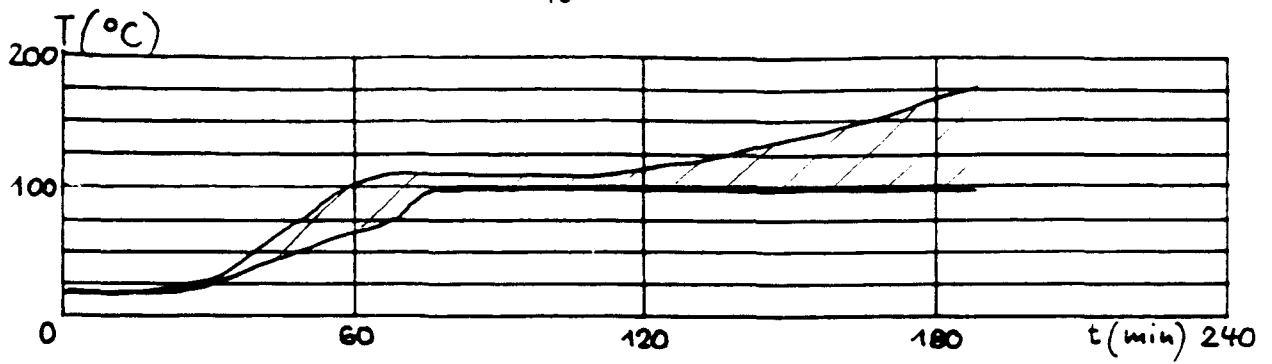
Versuchskörper  
FD 2

Verlauf der Dilatation in den Randmitten,  
Summe in Nord-Süd- und in West-Ost-Richtung

Bild  
2.3.3/13



Punktförmig gestützte Platten im Feuer	Versuchskörper FD 1
Verlauf der Temperatur, Dehnung und Spannung obere Bewehrung, Plattenecken	Bild 2.3.3/14



Punktförmig gestützte Platten im Feuer

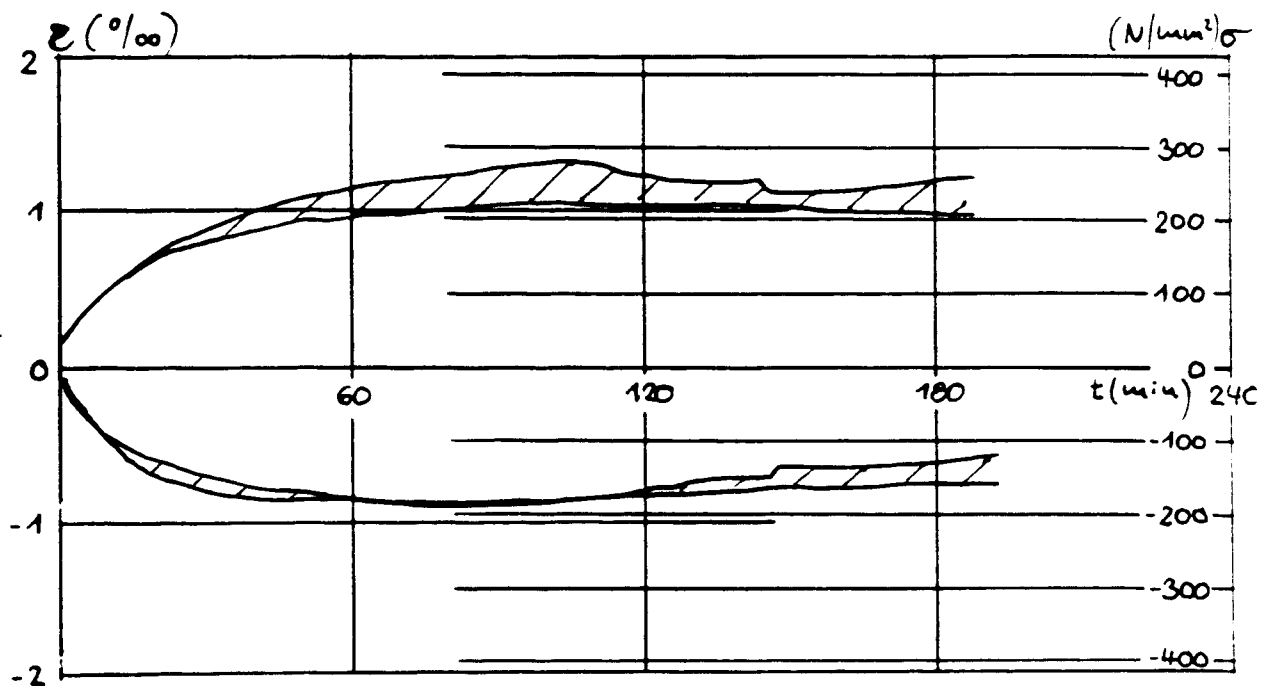
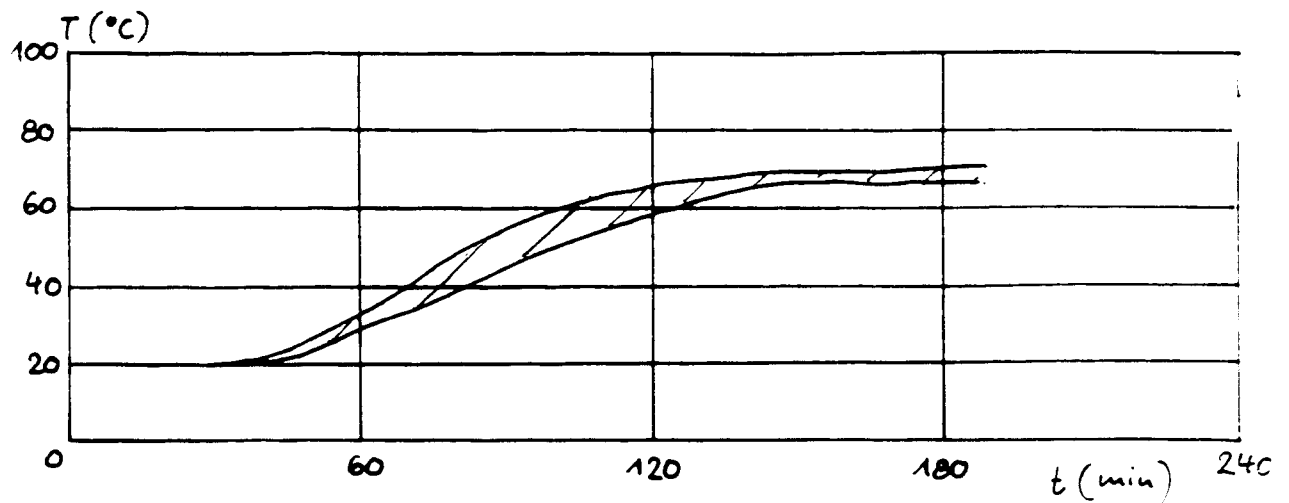
Versuchskörper

FD2

Verlauf der Temperatur, Dehnung und Spannung  
obere Bewehrung, Randstifte West, Querrichtung

Bild

2.3.3/15



Punktförmig gestützte Platten im Feuer	Versuchskörper FD 2
Verlauf der Temperatur, Dehnung u. Spannung Stützenfüße des Aussteifungsgrenzes	Bild 2.3.3/16 06/11/2014

Bei den Dehnungen, die an den Flanschen der Stützen des Stahl-Aussteifungskreuzes gemessen wurden, war keine Temperaturbereinigung erforderlich (Bild 2.3.3.16). Aus den hier ermittelten Spannungen ergibt sich das durch die Aussteifungskonstruktion aufgenommene Einspannmoment des Plattenfeldes zu

$$\begin{aligned} M &= \sigma \cdot W \\ \sigma &\approx 200 \text{ N/mm}^2 \\ W &= 2 \cdot 77,3 \text{ cm}^3 \text{ (2 IPE 140)} \\ M &\approx 31 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Damit wurde die obere Bewehrung in der Platte bis in die Nähe der Fließspannung beansprucht (s. Bild 2.3.3.15). Es wurde jedoch keine volle Einspannung erzeugt, vielmehr ergab sich eine kontinuierlich bis auf rd. 6° anwachsende Querneigung der Plattenränder (s. Bild 2.3.3.11).

Der Abbau der Spannungen in späteren Versuchstadien entspricht den Beobachtungen an der Plattenbewehrung (s. Bild 2.3.3.15).

## 2.4 Beurteilung des Tragverhaltens

Über das Tragverhalten der experimentell untersuchten Platten wurde eine Vorberechnung mit einem im Sonderforschungsbereich 148 entwickelten elektronischen Rechenprogramm durchgeführt. Es erfaßt außer den Lastschnittgrößen diejenigen, die sich aus der Behinderung der thermischen Verformungen ergeben.

Die Platten wurden dabei als vollkommen symmetrische Systeme angesehen, also als Innenfelder von vielfeldrigen Plattensystemen, deren mechanische wie auch thermische (Brand-) Beanspruchung in allen Feldern gleich war. Somit genügte es, ein Plattenviertel zu untersuchen.

Die Annahme impliziert Durchlaufwirkung und vollständige Dehnbehinderung des herausgeschnittenen Plattenviertels.

Rechnerisch bewirkte die Durchlaufwirkung ein Anwachsen der negativen Momente in den Einspannbereichen, wie das von liniengelagerten Systemen bekannt ist. Außerdem wurden infolge der horizontalen Unverschieblichkeit Zwangdruckkräfte besonders in den Stützenbereichen aufgebaut.

Ein Versagen nach ca. 20 min Normbrandbeanspruchung infolge Überbeanspruchung der Biegedruckzone nahe den Stützen wurde prognostiziert.

Tatsächlich traten zu diesem Zeitpunkt erste gravierende Zerstörungen auf.

Während rechnerisch infolge Symmetrieansatz bei Biegedruckversagen an einer - entscheidenden - Stelle das Versagen der ganzen Platte folgt, kann in Wirklichkeit bei Ausfall einer Stütze eine Biegetragwirkung auf drei Stützen noch aufrechterhalten werden.

Hierbei ist auch zu bedenken, daß durch das Versagen des Biegequerschnitts im Bereich einer Stütze eine Entlastung gegenüber der horizontalen Zwängung und damit ein Rückgang der Normalkräfte eintritt.

Jedoch trat in den Versuchen später auch der Verlust des Biegedruckquerschnitts an weiteren Stützen auf, ohne den Zusammenbruch der Prüfkörper nach sich zu ziehen. Es muß eine Umwandlung des biegesteifen Tragsystems in eine Zugmembran angenommen werden.

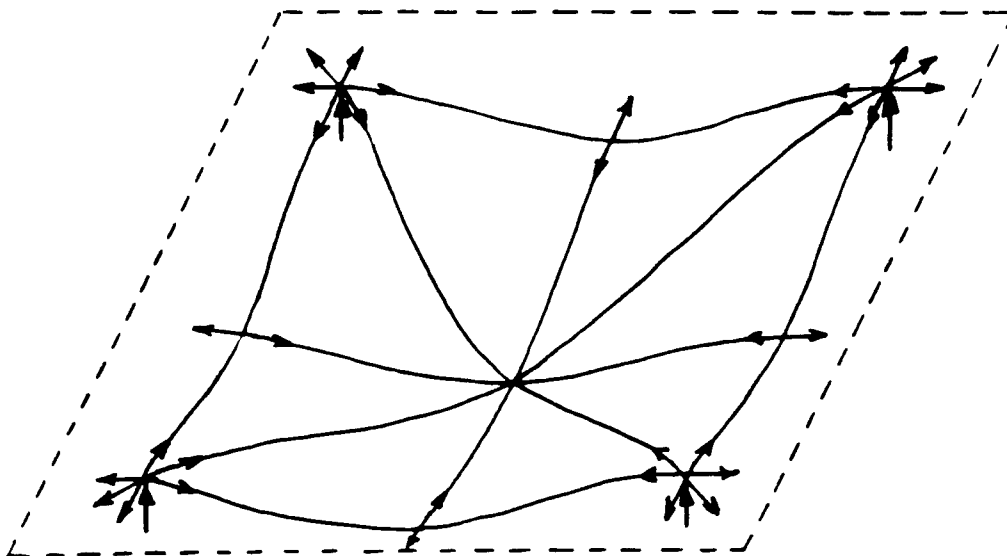


Bild 2.4.1  
Prinzip einer "biegungsfreien" Tragwirkung



Diese Membran überträgt ihre vertikalen Kraftkomponenten teilweise auf die Gurtstreifen und teilweise unmittelbar auf die Stützen. Die Gurtstreifen können ebenfalls als Zugglieder angesehen werden, die ihrerseits vertikale Kraftkomponenten in die Stützen einleiten.

Zur Aufnahme der horizontalen Kraftkomponenten reichte bei den Versuchen die Zwangdruckkraft aus, die sich durch die vollständige Behinderung der thermischen Längsdehnung in den Eckbereichen aufbauen mußte, um das System stabil zu halten.

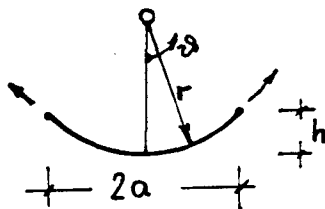
Über die Möglichkeiten, die horizontalen Kraftkomponenten in einem wirklichen Tragwerk aufzunehmen, wird noch zu diskutieren sein (s. Abschnitt 2.4.2).

Die Umwandlung des biegebeanspruchten Plattensystems in das einer nur normalkraftbeanspruchten Membran kann sich allmählich oder schlagartig vollziehen. Bei ausreichender Biegedruckzone und ohne Abplatzungen kann sich auch ein Biegesystem erhalten, das bei den relativ großen Durchbiegungen wohl am besten als Schale zu beschreiben wäre.

#### 2.4.1 Abschätzung der Membran- und Seilkräfte in den Versuchskörpern bzw. in Platten, deren Belastung und Geometrie den Versuchskörpern entspricht

Der Mittelbereich der Platte wird in grober Näherung als rotationssymmetrisch belastete Kugelschale (Membran) mit den Ansätzen der Elastostatik untersucht.

##### Geometrie



$$r = \frac{a^2 + h^2}{2h}$$

$$\sin \vartheta_{\max} = \frac{a}{r}$$

Hilfswerte (s. Skizze)

(Für h werden die gemessenen Durchbiegungswerte eingesetzt, s. Bild 2.3.3/12)

		30'	60'	90'	120'	180'
Diagonale 2a = 6,54 m	h (m)	0,100	0,150	0,180	0,200	0,240
	r (m)	53	36	30	27	22
	$\sin \vartheta_{\max}$	0,06	0,09	0,11	0,12	0,15
	$\vartheta_{\max}$	3,5	5,1	6,4	6,5	8,6
	$\cos 2\vartheta_{\max}$	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96
Feldmittellinie 2a = 4,62 m	h (m)	0,050	0,080	0,090	0,100	0,110
	r (m)	53	33	30	27	24
	$\sin \vartheta_{\max}$	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
	$\vartheta_{\max}$	3,5	4,0	4,6	5,1	5,7
	$\cos 2\vartheta_{\max}$	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98
Rand (Gurtstreifen) 2a = 4,62 m	h (m)	0,050	0,080	0,095	0,110	0,130
	r (m)	53	33	28	24	21
	$\sin \vartheta_{\max}$	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11
	$\vartheta_{\max}$	3,5	4,0	4,6	5,7	6,7
	$\cos 2\vartheta_{\max}$	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98

### statische Ansätze für die Membran

Vertikalbelastung  $0,15 \cdot 25 =$

$$g = 3,75 \text{ kN/m}^2$$

$$p = 4,43 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 8,18 \text{ kN/m}^2$$

Membrankräfte

im Meridian

$$N_{\vartheta} = \frac{q \cdot r}{2}$$

im Breitenkreis

$$N_{\varphi} = \frac{q \cdot r}{2} \cdot \cos 2\vartheta,$$

mit  $\cos 2\vartheta = 1$ :

$$N_{\varphi} = \frac{q \cdot r}{2} = N_{\vartheta}$$

Die ungünstigsten Werte ergeben sich hieraus zunächst (nach 30 min Brandbeanspruchung) in allen betrachteten Schnitten gleich und später bei dem Abtrag bzw. der Schallengeometrie über die Diagonale. Dabei treten die folgenden Membrankräfte  $N = N_{\theta} = \max N_{\varphi}$  auf, die aufzunehmen wären durch eine Bewehrung  $A_{S,T}$ .

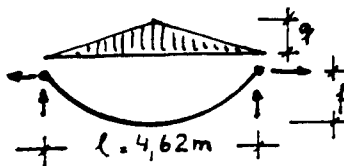
Wenn dafür die untenliegende Bewehrung bis zum Fließen herangezogen wird, muß die temperaturabhängige Abnahme der Stahlfließgrenze (kritische Stahltemperatur) für die Ermittlung des Bewehrungsquerschnitts berücksichtigt werden.

$A_{S,T}$  ist der bei einer kritischen Stahltemperatur von 500 °C erforderliche Bewehrungsquerschnitt.

$A_{S,T} = N/0,57 \cdot \beta_S$  für BSt 500/550 (in der Tafel).

	30'	60'	90'	120'	180'
r (m)	53	36	30	27	22
N (kN/m)	216,8	147,2	122,8	100,6	90,0
$A_{S,T}$ (cm <sup>2</sup> )	7,60	5,16	4,30	3,53	3,06

### Statische Ansätze für das Seil (Gurtstreifen)



Bei vollem Abtrag über die Gurtstreifen, d.h. ohne direkten Diagonalabtrag auf die Stützen, wird bei Belastung durch zwei Plattenfelder:

$$q = 8,18 \cdot 2 \cdot \frac{4,62}{2} = 37,80 \text{ kN/m}$$

$$M = q \frac{l^2}{12} = 37,80 \cdot \frac{4,62^2}{12} = 67,40 \text{ kNm}$$

$$S = \frac{M}{f} \text{ und } A_{S,T} = S/0,57 \beta_S \text{ für BSt 500/500}$$

(Für  $f$  werden die gemessenen Durchbiegungswerte eingesetzt, s. Bild 2.3.3/12.)

	30'	60'	90'	120'	180'
$f$ (m)	0,050	0,080	0,095	0,110	0,130
$S$ (kN)	1350	843	710	613	518
$A_{S,T}$ (cm <sup>2</sup> )	47,30	29,58	24,95	21,55	18,18

#### 2.4.2 Aufnahme der Membran- und Seilzugkräfte

Die Versuchskörper waren aus den in Abschnitt 2.2.1 genannten Gründen so hoch bewehrt, daß die Zugkräfte problemlos aufgenommen werden konnten.

Für ein Platteninnenfeld in einem wirklichen System, dessen Belastung und Geometrie den Prüfkörpern entspricht ( $d = 150 \text{ mm}$ ; BSt 500/550), wird im folgenden die für die Biegebemessung im Normaltemperaturzustand erforderliche Bewehrung dem erforderlichen Stahlquerschnitt zur Aufnahme der Membran- bzw. Seilzugkräfte gegenübergestellt.

#### Momente und Bewehrung für den Normaltemperaturzustand (s. Abschn. 2.2.1)

Feldstreifen, Feldmoment	$m_{FF} = 6,18 \text{ kNm} \rightarrow A_S = 1,98 \text{ cm}^2$
" Stützmoment	$m_{SF} = - 7,25 \text{ kNm} \quad A_S = 2,07 \text{ cm}^2$
Gurtstreifen, Feldmoment	$m_{FG} = 9,20 \text{ kNm} \quad A_S = 2,96 \text{ cm}^2$
" Stützmoment	$m_{SS} = - 30,42 \text{ kNm} \quad A_S = 9,12 \text{ cm}^2$
" "	$m_{SG} = - 20,30 \text{ kNm} \quad A_S = 5,93 \text{ cm}^2$

Die in den vorstehenden Tafeln ermittelten Bewehrungsquerschnitte für Membran bzw. Seil setzen voraus, daß die Zugbewehrung auf  $\leq 500\text{ °C}$  erwärmt wird. Wegen der geringsten Durchbiegung ergeben sich daraus die ungünstigsten Werte für die geringste Brandbeanspruchungsdauer. Wenn angenommen wird, daß bereits nach 30 min Branddauer das biegungsfreie System wirksam ist, werden zur Aufnahme der Membrankräfte  $A_S = 7,60\text{ cm}^2$  erforderlich. Wird jedoch die untenliegende Bewehrung mit einem Achsabstand  $u = 20\text{ mm}$  zur beflamten Oberfläche verlegt, wird die Temperatur von  $500\text{ °C}$  nach 30 min Brandbeanspruchung noch nicht erreicht, vielmehr wird die Bewehrung nur auf rd.  $300\text{ °C}$  erwärmt und verliert weniger an Festigkeit. Der erforderliche Bewehrungsquerschnitt beträgt dann  $A_{S,T} = 4,8\text{ cm}^2$ , d.h. rd. 140 % mehr als für den Normaltemperaturzustand ( $A_S = 1,98\text{ cm}^2$  für  $m_{FF}$ ).

Nach 90 min Beanspruchungsdauer und  $u = 35\text{ mm}$  wird die Bewehrung auf rd.  $500\text{ °C}$  erwärmt und der erforderliche Querschnitt ist  $A_{S,T} = 4,30\text{ cm}^2$ , d.h. rd. 120 % mehr als für den Normaltemperaturzustand.

Die Verhältnisse ändern sich selbstverständlich, wenn auch eine obere Bewehrung für die Aufnahme der Zugkräfte herangezogen werden kann, da sie nur wenig erwärmt und somit ihre Fließgrenze nicht oder nur unwesentlich beeinträchtigt wird.

Ungünstiger werden die Verhältnisse bei dem als Seil wirkenden Gurtstreifen. Hier ergibt sich, wenn nur eine untenliegende Bewehrung zur Aufnahme der Zugkraft herangezogen wird:

Normaltemperatur	30'	90'
$A_S = 2,96 \cdot 1,85 = 5,48\text{ cm}^2$ (1,85 m = Gurtstreifenbreite)	$u < 10\text{ mm}$ $T = 500\text{ °C}$ $A_{S,T} = 47,30\text{ cm}^2$ entspr. $8,6 \cdot A_S\text{ }20\text{°C}$	$u = 35\text{ mm}$ $T = 500\text{ °C}$ $A_{S,T} = 24,95\text{ cm}^2$ entspr. $4,5 \cdot A_S\text{ }20\text{°C}$
	<hr/> $u = 20\text{ mm}$ $T = 300\text{ °C}$ $A_{S,T} = 29,90\text{ cm}^2$ entspr. $5,5 A_S\text{ }20\text{°C}$	

Da sowohl bei der Membran als auch bei dem Gurtstreifen-Seil die untere Bewehrung zur Aufnahme der Zugkräfte angesetzt wurde, muß dafür Sorge getragen werden, daß im Bereich möglicher Zerstörungen der ursprünglichen, im Bereich der Stützen untenliegenden Biegedruckzone und damit verbundener Erwärmung der unteren Bewehrung auf  $\gg 500\text{ }^{\circ}\text{C}$  die Zugkräfte von der obenliegenden Bewehrung übernommen werden können.

Bis zu diesem Punkt ist die Ausbildung von punktförmig gestützten Platten als biegungsfreies Tragwerk ohne besondere Schwierigkeiten, wenn auch mit erhöhtem Bewehrungsaufwand möglich.

Es bleibt die Frage der Aufnahme und Ableitung der horizontalen Kraftkomponenten.

Stellt man sich ein Innenfeld eines vielfeldrigen Plattensystems vor, so bereitet das Problem keine Schwierigkeiten. Sowohl die Membranzugkräfte in den Feldbereichen als auch die Seilzugkräfte der Gurtstreifen können von den jeweiligen Nachbarmfeldern übernommen werden. Das ist unabhängig davon, ob diese selbst vom Brand mitbeansprucht werden oder nicht.

Bei Rand- und Eckfeldern fehlt an jeweils einer bzw. zwei Seiten diese Möglichkeit. Es wäre hier daran zu denken, besonders seitensteife Randbalken auszubilden, die die Horizontalkräfte auf die Rand- und Eckstützen übertragen könnten, welche ihrerseits entsprechend auszubilden wären. Auch wäre zu prüfen, ob Randgurtstreifen ohne besondere Verstärkung zur Weiterleitung von Horizontalkräften heangezogen werden können.

Eine andere Möglichkeit wäre, Rand- und Eckfelder grundsätzlich so auszubilden, daß ihre Biegetragfähigkeit über die Dauer der Brandbeanspruchung erhalten bleibt. Dazu müßte die Plattendicke so groß gewählt werden, daß Abplatzungen vermieden werden, und die Bemessung für den Normaltemperaturzustand müßte ausreichende Reserven in den stützennahen Biegedruckbereichen ausweisen.

Schließlich wäre auch daran zu denken, die gefährdeten Bereiche durch Platten oder Spezialbrandschutzputz zu schützen.



## 2.5 Vorläufige Schlußfolgerungen

Durch Versuche an zwei quadratischen, punktförmig gestützten Platten mit den Systemmaßen  $l_x/l_y = 4,62/4,62$  (m) und deren rechnerische Begleitung und Auswertung konnte gezeigt werden, daß solche Platten imstande sind, die Belastung "biegungsfrei" als Membran- und Seilsystem aufzunehmen und abzutragen. Voraussetzung dafür ist eine entsprechend verstärkte Bewehrung. Außerdem muß in den Rand- und Eckfeldern sowie in den Rand- und Eckstützen durch besondere Maßnahmen für die Aufnahme der horizontalen Kraftkomponenten gesorgt werden.

Ob sich ein biegungsfreies Tragsystem einstellt, ist davon abhängig, ob an entscheidenden Stellen die Aufnahme von Biegemomenten möglich ist oder nicht. Die entscheidenden Stellen sind die stützennahen Bereiche, bei denen in den Versuchskörpern die Biegedruckzone frühzeitig, eingeleitet durch Abplatzungen, zerstört wurde. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde eine Umlagerung der Schnittkräfte wie bei liniengestützten Systemen festgestellt.

Die Momentenumlagerung infolge Durchlaufwirkung und die damit verbundene Erhöhung der Biegedruckspannungen allein hätte bei den vorliegenden Verhältnissen die beobachteten Effekte nicht hervorrufen können.

Die Zerstörung der Biegedruckzone der Versuchskörper in den stützennahen Bereichen dürfte vielmehr in erster Linie darauf zurückzuführen sein, daß dort die thermische Horizontaldehnung vollständig verhindert wurde, wodurch hohe Zwang-Druckkräfte aufgebaut wurden, die sich mit den infolge Durchlaufwirkung erhöhten Spannungen überlagerten. Entsprechende Beobachtungen wurden bei einer vollständig dehnbehinderten randgestützten Platte, die im SFB 148 geprüft wurde, gemacht.

Eine Platte von 150 mm Dicke ist nach [2] noch abplatzgefährdet, wenn am exponierten Rand hohe Druckspannungen herrschen und wenn in Randnähe engmaschige Bewehrung vorhanden ist. Beides war bei den Versuchen gegeben.

Die Forderung nach gegenüber DIN 1045 erhöhter Mindest-Plattendicke erscheint hier angebracht.

Die Überbeanspruchung des feuerzugekehrten Druckrandes ist weitgehend davon abhängig, ob eine Behinderung der thermischen Längsdehnung der Platte vorhanden ist; daher ist zu überlegen, ob in der Praxis vollständige Zwängungen (wie bei den Versuchen) zu berücksichtigen sind.

Wenn aus einem vielfeldrigen Plattensystem nur ein Teil vom Brand direkt beansprucht wird, kann sich eine vollständige Dehnbehinderung nicht einstellen. Der Grad der Behinderung ist abhängig von der Horizontalsteifigkeit der umgebenden kalten Plattenbereiche. Die Zwangskräfte bauen sich, sofern die kritische Zeit möglicher Abplatzungen überwunden wird, durch Hochtemperaturkriech- und -relaxationseffekte im Laufe der Beanspruchung wieder ab.

Theoretisch ist eine vollständige Verhinderung thermischer Längsdehnungen von Innenfeldern dann gegeben, wenn das Gesamtplattensystem gleichmäßig mechanisch belastet und brandbeansprucht ist, also die Zwangskräfte symmetrisch sind.

Schon geringfügig unsymmetrische Verhältnisse, wie sie praktisch fast immer gegeben sein dürften, schließen absolute Verhinderung von Dilatationen aus, da ein Ausweichen und damit eine Entlastung möglich sind. Auch hier folgt in späteren Brandstadien eine zusätzliche Entlastung durch Kriechen und Relaxation.

Das Risiko der Überbeanspruchung und des vorzeitigen Versagens der Biegedruckzone ist also in der Praxis als geringer anzusehen als bei den durchgeführten Versuchen. Eine zahlenmäßige Ermittlung für Fälle der Praxis ist jedoch schwierig.

Voll intaktes Biegesystem und biegungsfreies, als Zugmembrane wirkendes Tragwerk sind die beiden Extreme der Lastabtragung. In Wirklichkeit dürfte die Biegetragfähigkeit nicht vollständig verloren gehen, so daß sich Mischsysteme ergeben. Auch bei den Versuchen blieb in den stützenferneren Bereichen eine Biegetragwirkung erhalten (s. Abschn. 2.3.3.5).

Beispielsweise könnten bei frühzeitiger Zerstörung der Eckbereiche die Feldstreifen als sich kreuzende Plattenstreifen betrachtet werden, während nur die Gurtstreifen ihre Biegetragfähigkeit einbüßen und die Plattenlasten als Seile in die Unterstützungen leiten würden.

Die vorstehenden Betrachtungen sollten auf die Komplexizität des Problems hinweisen. Alle aufgezeigten Tragmechanismen sind rechnerisch nachvollziehbar. Für eine Vorausbestimmung des wirklichen Brandverhaltens sind jedoch alle Ansätze zweifelhaft.

Bisher haben alle Überlegungen der Tragfähigkeit punktgestützter Platten unter Brandbeanspruchung gegolten. Ob man tiefgreifende Zerstörungen des Plattengefüges in Kauf nehmen kann, sollte jedoch auch von anderen Kriterien abhängig gemacht werden. Solche Platten werden häufig als Begrenzung eines Brandabschnitts eingesetzt. In jedem Fall haben Decken, die in eine Feuerwiderstandsklasse gemäß DIN 4102 Teil 2 eingestuft werden sollen, auch einen Raumabschluß zu gewähren. Bei gravierenden Zerstörungen, wie sie bei den Versuchen beobachtet wurden, ist eine Rohdecke dazu nicht in der Lage. Es müßte etwa ein Estrich hinzugezogen werden. Besondere Maßnahmen wären zu treffen, um den Estrich - unabhängig vom Verhalten der Rohdecke - wirksam zu erhalten, also klaffende Risse zu vermeiden, durch welche heiße Gase dringen könnten.

### 3. DER STÜTZENNAHE BEREICH

#### 3.1 Tragverhalten unter Normaltemperatur

Das Tragverhalten der stützennahen Bereiche unter Normaltemperatur wird im wesentlichen von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Höhe der von der Platte im Stützenanschnitt eingeleiteten äußeren Lasten,
- Plattendicke, Stützenquerschnitt und Spannweiten,
- Beton- und Stahlgüte,
- Biegebewehrungsgrad über der Stütze, kreuzend oder als 3-Bahnen-Bewehrung,
- Höhe der Betondruckspannung an der Plattenunterseite im Anschnitt zur Stütze (in den gebräuchlichen Bemessungsverfahren ersetzt durch eine Grenz-Schubspannung in einem Rundschnitt in bestimmter Entfernung vom Stützenanschnitt, sog. Durchstanznachweis),
- Biegemomente zwischen Stütze und Platte (ausmittige Belastung der Stütze) Stellung der Stütze im Plattenfeld: Eck-, Rand- oder Innenstütze,
- Öffnungen (Aussparungen) in der Platte im Nahbereich der Stütze.

Das Versagen tritt entweder durch Erreichen der Fließspannung in der Biegebewehrung oder durch Überschreitung der Druck bzw. Schubspannung in der ringförmig um den Stützenanschnitt gebildeten Biegedruckzone ein. Im zweitgenannten Falle bildet sich primär der bekannte Durchstanzkegel, während im ersteren Falle zunächst klaffende radial und ringförmig verlaufende Risse den Erschöpfungszustand ankündigen, der u.U. sekundär auch in einen Durchstanzbruch übergehen kann.

Durch eine Schubbewehrung - Bügel oder Schrägstäbe - kann der Eintritt eines Durchstanzbruches auf ein höheres Lastniveau verlagert werden, doch ist diese Möglichkeit einer Traglaststeigerung begrenzt.

Da der Einbau einer Schubbewehrung bei Platten stets arbeitsaufwendig ist, wird in der Praxis die Plattendicke im Regelfalle so groß gewählt, daß im sog. "Durchstanznachweis" keine Schubbewehrung erforderlich wird.

Die besondere Art der Stützung hat größere Durchbiegungen zur Folge als bei liniengelagerten Durchlaufplatten gleicher Schlankheit  $L/d$ . Dies wird in der Entwurfspraxis gelegentlich übersehen und führt zu unangenehmen Folgeerscheinungen. Deswegen sollten punktgestützte Platten mit einer Plattendicke von weniger als 20 cm vermieden werden. Hierdurch ( $L/d \leq 30$ ) erhalten Bügel – sofern Schubbewehrung erforderlich wird – auch eine angemessene Verankerungslänge in der Druck- und Zugzone.

### 3.2 Brandverhalten

Das Brandverhalten des stützennahen Bereiches unterscheidet sich gegenüber dem Tragverhalten unter Normaltemperatur vor allem dadurch, daß die Plattenunterseite zunehmend zermürbt wird und der Beton schon nach 60 Minuten Normbranddauer dort 2 bis 3 cm tief kaum mehr nennenswerte Festigkeiten aufweist. In den darüberliegenden Schichten ist mit einem Festigkeitsabfall auf 50 bis 40% zu rechnen. Diese Festigkeitsminderungen wurden aus Temperaturmessungen abgeleitet, wobei auch Vergleiche zu Temperaturmeß-Ergebnissen am Übergang vom Steg zur Platte eines Plattenbalkens herangezogen wurden.

Demgegenüber wird die Biegezugbewehrung kaum erwärmt, erfährt also keine Minderung ihrer Festigkeit. Hinsichtlich der Schubbewehrung muß mit einer Erwärmung der Verankerung in der Biegedruckzone gerechnet werden, die zu einer Minderung der Festigkeit auf 60 – 50% führen kann, so daß sich Dehnungen einstellen können, die zu einer Öffnung des Trennrisses zwischen Stanzkegel und Platte führen; die Erhöhung der Durchstanzlast durch Schubbewehrung bei Normaltemperatur kann somit unter Brandeinwirkung wieder vermindert werden.

Infolge Behinderung der thermischen Verformung der Platten treten zudem Schnittgrößenumlagerungen auf, die systemabhängig auch zu erhöhten Beanspruchungen in den stützennahen Bereichen führen können.

In der vorliegenden Forschungsarbeit wurden auf der Grundlage der von Kinnunen und Nylander [3] entwickelten Traglasttheorie für punktgestützte Platten mit und ohne Schubbewehrung zulässige Lasten und Traglasten für Normaltemperatur und 90-Minuten-Normbrand-Einwirkung ermittelt. Hierbei

wurden die Plattendicke und die Stützenabmessungen sowie die Spannweiten schrittweise verändert: die Festigkeit der Biegebewehrung blieb unverändert, während unter Brandeinwirkung der Ausfall der exponierten Zonen an der Plattenunterseite in Verbindung mit einer Festigkeitsminderung des Betons in der verbleibenden mehrachsig beanspruchten Betondruckzone angesetzt wurde.

Die wesentlichen Modellvorstellungen nach [3] sind in den folgenden Bildern, entnommen aus [4], wiedergegeben.

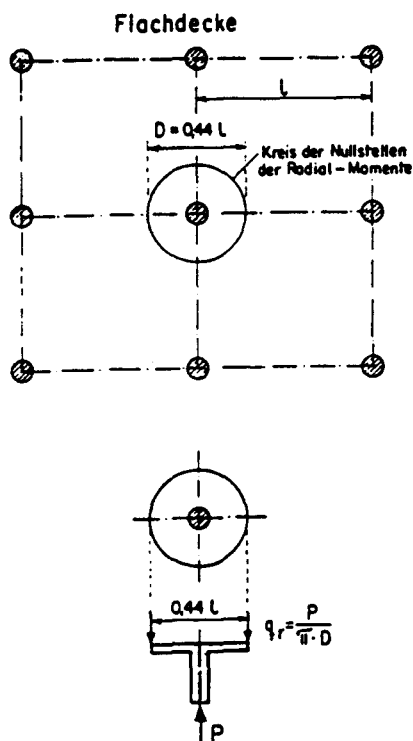


Bild 3.1: Ersatzplatte zur Untersuchung des Durchstanzens

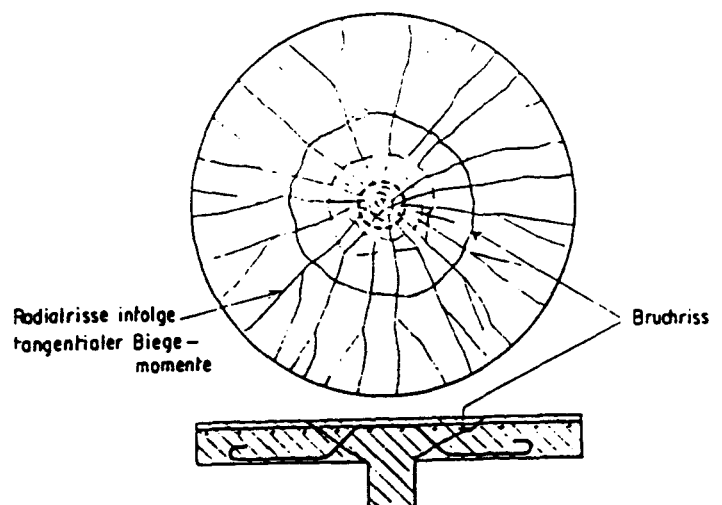


Bild 3.2: Schematische Darstellung des Rissbildes im Stützenbereich einer Flachdecke

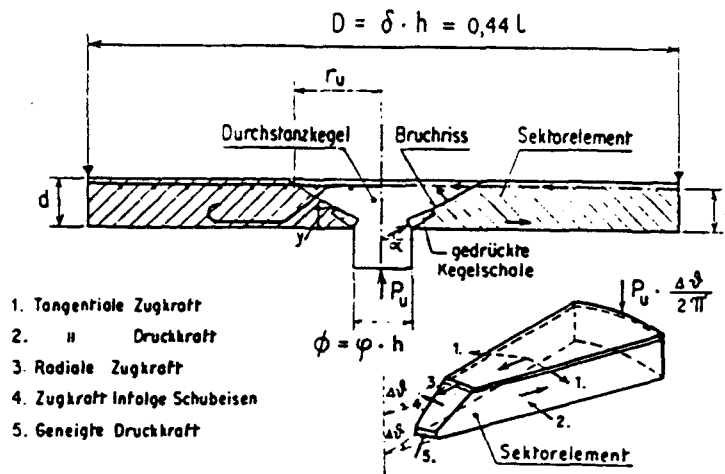


Bild 3.3: Modell zur Erklärung des Durchstanzens nach Kinnunen und Nylander

Das Modell ist durch Abtrennen des Stützenbereiches entlang der nach der Elastizitätstheorie ermittelten Momenten-Nullpunktslinie entstanden zu denken. Unter Bezug auf das Bruch-Rißbild wird ein etwa kreisförmiger Plattenbereich in den Durchstanzkegel und ihn umgebende rotationssymmetrisch angeordnete Sektorelemente aufgelöst. Der Bruchriß verläuft zwischen Kegelfläche und der Oberseite der Sektorelemente, letztere dienen vorrangig der Einleitung der schrägen Biegedruckkraft zum Stützenkopf. Die Verbindungen zwischen Stanzkegel, Sektorelementen und Stützenanschnitt bilden die oben liegenden Biegezugbewehrungen einerseits und eine gedrückte Kegelschale unmittelbar am Stützenanschnitt andererseits. Die Kegelschale besitzt eine Höhe annähernd gleich der Biegedruckzone und nimmt die schrägen Biegedruckkräfte von den Sektorelementen auf sowie die tangentialen, annähernd rotationssymmetrischen Druckkräfte im Ring um den Stützenanschnitt. Die Sektorelemente erhalten ebenfalls tangentielle Kräfte aus dem räumlichen Spannungszustand.

Die Verformungen im Erschöpfungszustand entsprechen einer Drehung der Sektorelemente um eine kreisförmige Linie, die am oberen Ende der Kegelschale zu denken ist; die Kegelschale ist zur Waagerechten etwa  $45^\circ$  ge-



neigt und verjüngt sich nach oben hin in einem solchen Maße, daß die in ihr auftretende Radial-Druckspannungen konstant bleiben.

Als Bruchkriterium wird die Stauchung des Betons in der Kegelschale in tangentialer Richtung angesehen. Die vergleichsweise konzentrierte mehrachsige Beanspruchung des Betons nahe der Plattenunterseite als Versagenskriterium und als wesentlicher Bestandteil des Nachweisverfahrens waren die Gründe für die Wahl dieses Verfahrens für Traglastnachweise unter Brandbeanspruchung. Proberechnungen und Vergleiche mit Versuchsergebnissen unter Normaltemperatur zeigen sehr befriedigende Ergebnisse.

Eine Berechnung der Durchstanz-Traglasten anhand gebräuchlicher Bemessungsnormen wurde wegen ihres Näherungscharakters unterlassen; lediglich einzelne Vergleichswerte wurden ermittelt. Vergleichsmöglichkeiten mit Brandversuchen sind nach u.W. nur durch 4 Tastversuche gegeben, die noch im Rahmen des SFB 148 durchgeführt werden konnten [5]. Sie wurden in die nachfolgende Darstellung unserer Rechenergebnisse aufgenommen.

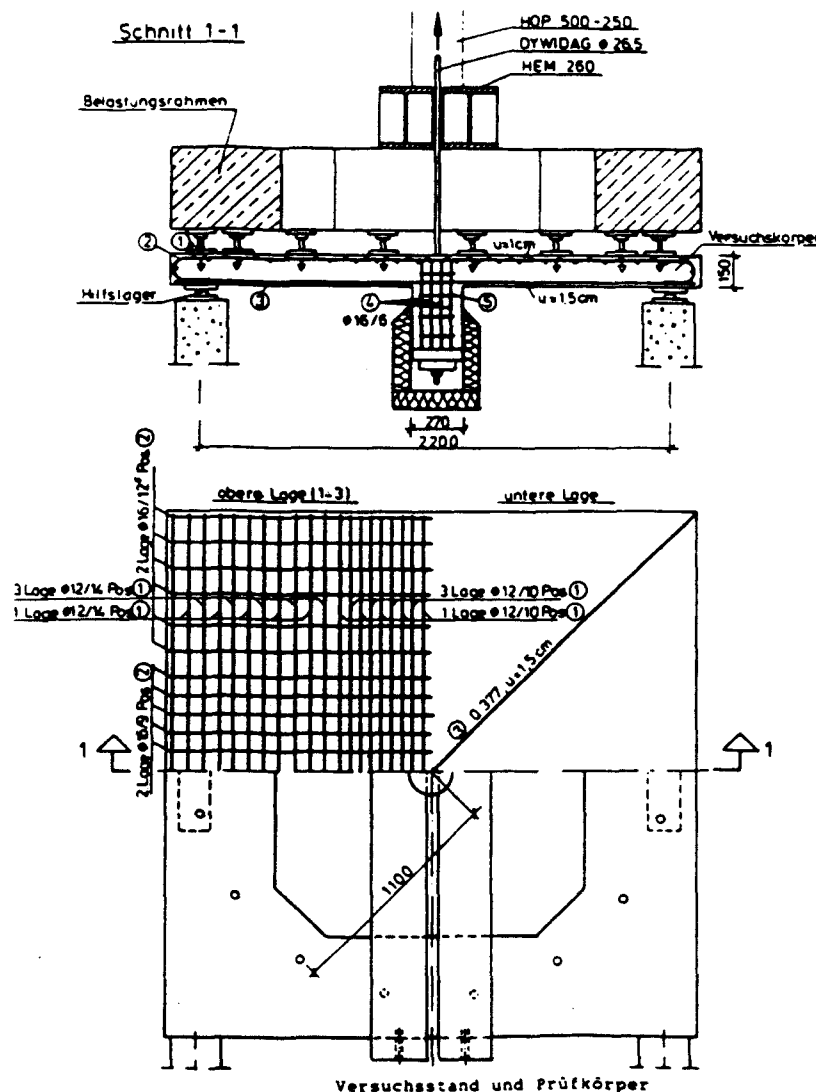


Bild 3.4

Die wichtigsten Versuchsdaten sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt:

Versuch.	Nr.	1	2	3	4
<b>Beton</b>					
Hergestellt 1985 am		01.08.	01.08.	11.07.	11.07.
Ausbreitmaß [cm]		--	--	44	44
Würfelfestigkeit nach 28 Tagen [N/mm <sup>2</sup> ]		41	41	47	47
Festigkeit nach Würfel [d] [N/mm <sup>2</sup> ]		169	169	190	190
Zylinder [N/mm <sup>2</sup> ]		47	47	49	49
E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]		39	39	42	42
Bruchdehnung [mm/m]		26200	26200	26400	26400
Spaltzug [N/mm <sup>2</sup> ]		2.05	2.05	2.12	2.12
		2.58	2.58	3.17	3.17
Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]		2.31	2.31	2.30	2.30
Feuchte [%]		3.87	3.87	3.91	3.91
Alter am Tage der Versuchsdurchführung [d]		141	154	182	189
<b>Stahl</b>					
Durchmesser 12					
Streckgrenze [N/mm <sup>2</sup> ]		565	565	565	565
Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]		647	647	647	647
Bruchdehnung [%]		17.2	17.2	17.2	17.2
Durchmesser 16					
Streckgrenze [N/mm <sup>2</sup> ]		558	558	558	558
Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]		653	653	653	653
Bruchdehnung [%]		19.2	19.2	19.2	19.2
zulässige } Durchstanzen [kN]		260	260	287	287
Gesamtlast } Biegung [kN]		293	293	299	299
Bruchlast im Versuch [kN]		260 <sup>*)</sup>	260 <sup>*)</sup>	345	360
Feuerwiderstandsdauer [min]		> 90	> 90	14	8
Abplatzungen [mm]		-	≤ 50	≤ 50	-

<sup>\*)</sup> kein Versagen unter Brandangriff aufgetreten

Plattendicke  $d = 15$  cm,  $h = 13,5$  cm, Bewehrung  $\mu_x = \mu_y = 1,4$  %, auf  $h = 13,5$  cm bezogen

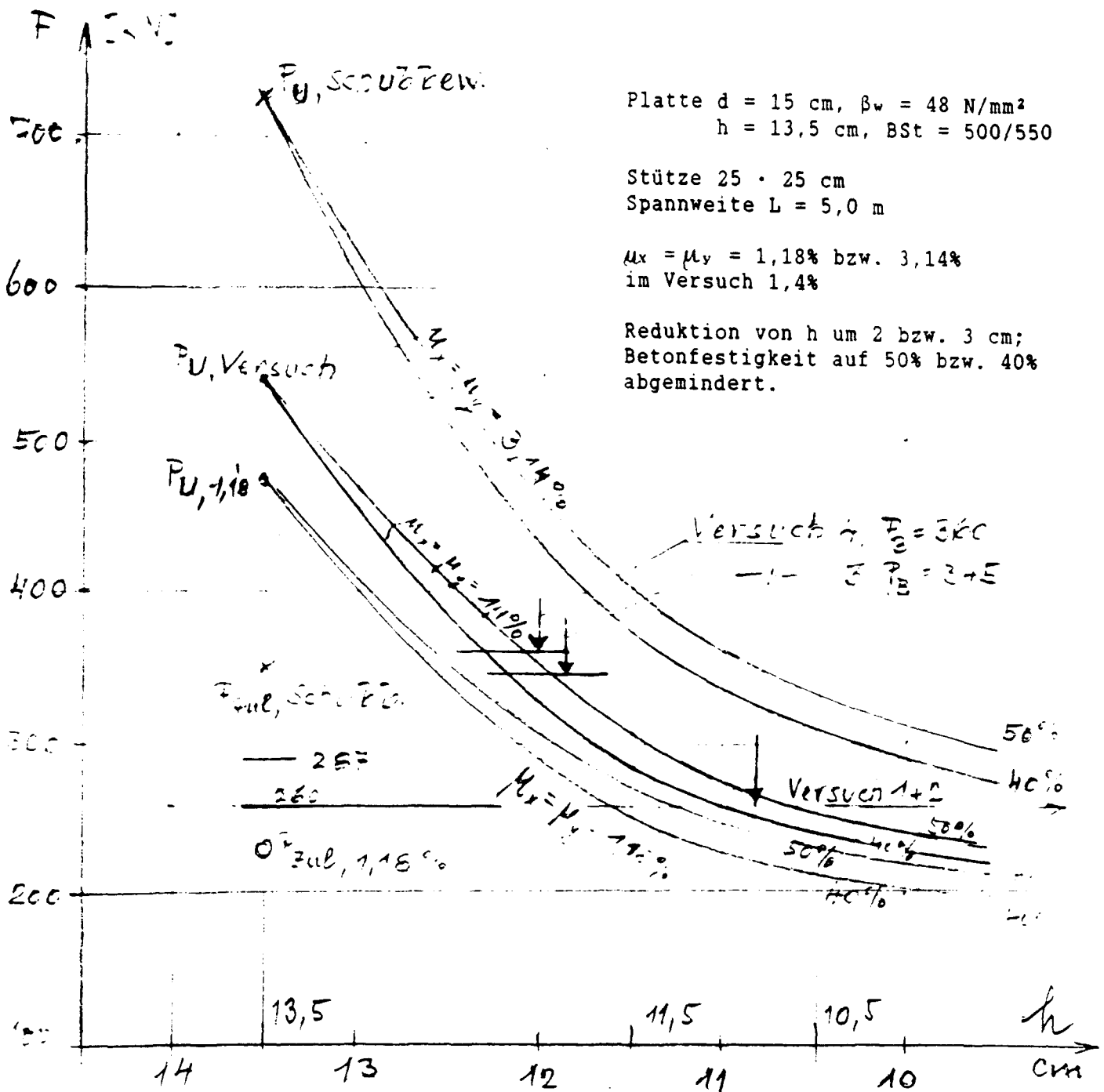


Bild 3.5: Rechen- und Versuchsergebnisse von Durchstanz-Traglasten

Die Brandversuche 1 und 2 wurden nach DIN 4102 durchgeführt, d.h. es herrschten Normbrandbedingungen. Die nach DIN 1045 zulässige Last (260 kN) wurde aufgebracht und während der Brandbeanspruchung konstant gehalten. Es trat kein Versagen ein.

Bei den Versuchen 3 und 4 wurde zu Beginn die zulässige Last (287 kN) aufgebracht, dann aber nach einem willkürlich gewählten Programm gesteigert, das nach 20 Minuten zu einer 20%-igen (Versuch 3) bzw. 40%-igen Laststeigerung (Versuch 4) führen sollte. Versuch 3 versagte nach 14 Min. bei 345 kN; Versuch 4 nach 8 Min. bei 360 kN.

In Fig. 3.5 wurden die Versuchs-Bruchlasten eingetragen und zugleich der Abfall der Bruchlast unter Normaltemperatur auf die rechnerische Versagenslast unter Brandeinwirkung angedeutet.

Die Verminderung der statischen Höhe und die Herabsetzung der Betongüte dienten zur Wiedergabe der Querschnittsschwächung (Abplatzungen) und des Festigkeitsverlustes des Betons.

Die Versuche 1 und 2 mit  $P = 260$  kN führten nicht zu einem Durchstanzbruch. Sie hielten weit mehr als 90 Min. einer Normbrandbeanspruchung stand. Durch Vergleich mit den Rechenergebnissen und auf Grund von Versuchsbeobachtungen ist anzunehmen, daß eine Schicht von 2-3 cm an der Plattenunterseite zerstört wurde und sich nicht mehr an der Aufnahme der inneren Schnittgrößen beteiligte; allerdings wirkte sie als "Schutzschicht" und verhinderte eine weitere Erwärmung des restlichen Plattenquerschnitts insoweit, daß sich ein Durchstanzbruch nicht einstellte. Dies wurde in Fig. 3.5 durch Reduktion der statischen Nutzhöhe  $h$  um 2 bzw. 3 cm berücksichtigt bei gleichzeitigen Reduktionen der Betongüte im verbleibenden Druckbereich auf 50% bzw. 40%.

Die Versuche 3 ( $P_u = 345$  kN) und 4 ( $P_u = 360$  kN) versagten nach 14 bzw. 8 Minuten Normbranddauer. Innerhalb dieser kurzen Branddauer ist eine nachhaltige Zerstörung einer 1,0 - 1,5 cm dicken Schicht an der Plattenunterseite nicht sehr wahrscheinlich - was aber der Vergleich mit den Rechenergebnissen fordern würde. Jedenfalls ergab sich bei beiden Versuchen ein überraschend früher Durchstanzbruch, dessen Ursachen im Spiel der inneren Kräfte nicht aufgeklärt werden konnten.

#### 4. Zusammenfassung

Die bisher vorliegenden experimentellen und theoretisch-rechnerischen Ergebnisse sind in wesentlichen Bereichen noch sehr lückenhaft; dies gilt insbesondere für den stützennahen Bereich.

Die wenigen Versuche an stützenfernen Bereichen haben gezeigt, daß sich ähnlich wie bei liniengelagerten Plattendragwerken unter Brandangriff eine Momentenumlagerung einstellt, die zu einer Entlastung der Feldbereiche führt, sofern im Bereich negativer Momente kein frühzeitiges Versagen der Druckzone (durch Abplatzungen, Momentensteigerung, Horizontalzwängung) eintritt. Außerdem wurde deutlich, welche günstige Auswirkung die Bildung einer Zug-Membran haben kann - was allerdings Konsequenzen für die Bewehrungsführung in den Feldern und im Stützen- und Randbereich zur Folge hätte.

Für den stützennahen Bereich konnten noch keine ausreichend gesicherten Erkenntnisse gesammelt werden. So liegen beispielsweise überhaupt noch keine Brandversuche vor, aus welchen der traglaststeigernde Einfluß einer Schubbewehrung auf die Durchstanz-Traglast unter Brandeinwirkung abgeleitet werden könnte. Die Tastversuche des SFB wurden zudem an 150 mm dicken Prüfkörpern durchgeführt, die noch im abplatzgefährdeten Dickenbereich liegen. Hier vor allem sind experimentelle und rechnerische Untersuchungen erforderlich, wobei der Mangel an Versuchswerten in Verbindung mit entsprechenden Meßwerten besonders ins Gewicht fällt, wenn die Eignung des Kinnunen-Nylander-Modells für den Brandfall nachgeprüft werden soll, oder wenn andere Lösungswege verfolgt werden müssen.

In sicherheitstheoretischer Hinsicht hat eine punktgestützte Platte unter Brandangriff sicherlich weniger Reserven als ein vergleichbares hineingelagertes Tragwerk: die im Zusammenhang mit Momentenumlagerungen auftretenden Erhöhungen der Stützenmomente führen bei einzelnen Stützen bzw. Auflagern zu erhöhten Querkräften. Bei liniengelagerten Platten treten hierdurch keine signifikanten Bruchgefahren auf, anders jedoch bei der punktgestützten Platte, wo eine 10 - 20%-ige Querkraft- bzw. Laststeigerung durchaus zu einem Durchstanzbruch führen kann - wie die Ergebnisse der Versuche 3 und 4 zumindest andeuten.

Eine Fortsetzung der Untersuchungen ist daher im Sinne der Gefahrenabwehr und der Vermeidung erheblicher Schwankungen des Sicherheitsniveaus hinsichtlich des Brandverhaltens tragender Bauteile dringend erwünscht.

## 5. Literatur

[1] Emil Grasser, Gerd Thielen: Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderungen von Stahlbetontragwerken. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 240; Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin-München 1976

[2] Claus Meyer-Ottens: Zur Frage der Abplatzungen an Betonbauteilen aus Normalbeton bei Brandbeanspruchung. Diss. TU Braunschweig, 1972

[3] S. Kinnunen, H. Nylander: Punching of concrete slabs without shear reinforcement. Transactions of the Royal Institute of Technology, Stockholm, Nr. 158, 1960, Civil Engineering 3.

S. Kinnunen: Punching of concrete slabs with two-way reinforcement. Tr. of the Roy. Inst. of Techn., Stockholm, Nr. 212, 1963, Civil Engineering 8.

[4] W. Schaeidt, M. Ladner, A. Rösli: Berechnung von Flachdecken auf Durchstanzen. Düsseldorf 1970

[5] SFB 148, Arb.-Bericht 1984-1986. Teil 1, Band B, Seite 520-543

30-0337/001